

ISSN 1992-4259 (Print)
ISSN 2415-7651 (Online)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

ВІСНИК
ХАРКІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ
імені В. Н. КАРАЗИНА
СЕРІЯ «ЕКОЛОГІЯ»

ЗАСНОВАНА 2005 р.

Випуск 25

VISNYK
of V. N. KARAZIN
KHARKIV NATIONAL
UNIVERSITY
SERIES «ECOLOGY»

Issue 25

ВЕСТНИК
ХАРЬКОВСКОГО
НАЦИОНАЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА
имени В. Н. КАРАЗИНА
СЕРИЯ «ЭКОЛОГИЯ»

Выпуск 25

Харків
2021

У віснику надаються результати теоретичних та прикладних досліджень у галузі екології, географії, біології, екологічної безпеки, охорони навколишнього середовища та збалансованого природокористування. Пріоритет надано розв'язанню актуальних екологічних проблем та найкращим практикам міжнародного досвіду їх вирішення, екологічному менеджменту, медико-екологічним дослідженням, інноваційним дослідженням в галузі біотехнології, біохімії, генетики, екології людини, фізіології рослин і тварин, конструктивної географії, екології та збалансованого природокористування. Викладаються питання організації та методологічних досліджень національної вищої екологічної, біологічної, географічної та природоохоронної освіти.

Для науковців і фахівців-екологів, біологів, географів, а також викладачів, аспірантів, магістрів і студентів вищих навчальних закладів України та інших країн без будь-яких обмежень

Вісник є фаховим виданням у галузі географічних та біологічних наук (категорія Б)
Наказ МОН України від 17.03.2020 № 409

Затверджено до друку рішенням Вченої ради Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна (протокол № 11 від 25.10. 2021 р.)

Головний редактор:

Крайнюков О. М., д-р геогр. наук, проф., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;

Заступник головного редактора:

Тітенко Г. В., канд. геогр. наук, доц., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;

Відповідальний секретар:

Уткіна К. Б., канд. геогр. наук, доц., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;

Технічний секретар: **Баскакова Л. В.**, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна.

Редакційна колегія:

Адаменко М. І. д-р техн. наук, проф., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;

Бедункова О. О., д-р біол. наук, проф., Національний університет водного господарства та природокористування;

Бойко С., д-р філософії, Вармінсько-Мазурський університет, Польща;

Гавардашвілі Г., д-р техн. наук, проф., Інститут водного господарства імені Ц. Мірцхулави, Грузія;

Гриценко А. В., д-р геогр. наук, проф., НДУ «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»;

Доніка А., д-р філософії, Інститут екології та географії, Молдова;

Едріппуліге С., д-р географії, Університет Квінсленду, Австралія;

Жолткевич Г. М., д-р техн. наук, проф., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;

Кіосополос Дж., д-р філософії, проф., Афінівський університет прикладних наук, м. Афіни, Греція;

Крайнюкова А. М., д-р біол. наук, проф., НДУ «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»;

Кривцов В., д-р філософії, Единбургський університет, Великобританія;

Кульбачко Ю. Л., д-р біол. наук, проф., Дніпропетровський національний університет імені О. Гончара;

Кучер А. В., канд. пед. наук, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна;

Максименко Н. В., д-р геогр. наук, проф., Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна;

Млинарчик К., д-р, проф., Вармінсько-Мазурський університет, Польща;

Нахтнебель Х.-П., д-р, проф., Університету природних ресурсів та прикладних наук у Відні – ВОКУ, Австрія;

Некос А. Н., д-р геогр. наук, проф., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;

Сафранов Т. А., д-р геол.-мин. наук, проф., Одеський державний екологічний університет;

Страшнюк В. Ю., д-р біол. наук, проф., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;

Утєвська О. М., д-р біол. наук, проф., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;

Утєвський С. Ю., д-р біол. наук, проф., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;

Цапко Ю. Л., д-р біол. наук., с.н.с., ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського НААН»;

Чаплигіна А. Б., д-р біол. наук, проф., Харківський національний педагогічний університет імені Г. С. Сковороди;

Шабанов Д. А., д-р біол. наук, проф., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;

Шкарубо А., д-р філософії, Естонський університет наук про життя, Естонія.

Адреса редакційної колегії: 61022, Харків, майдан Свободи, 6, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, навчально-науковий інститут екології, кімн. 473а

тел. (057)707-53-86, 705-09-66, 707-56-36, e-mail : visnykecology@karazin.ua

Web-pages: <http://periodicals.karazin.ua/ecology> (OJS) <http://visnecology.univer.kharkov.ua/>

Статті пройшли подвійне «сліпе» рецензування.

Автори опублікованих матеріалів несуть повну відповідальність за підбір, точність наведених фактів, власних імен тощо.

Свідоцтво про державну реєстрацію: КВ № 21557-11457Р від 21.08.2015

© Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, оформлення, 2021

The journal provides the results of theoretical and applied research in the fields of ecology, geography, biology, environmental safety, environmental protection and sustainable use of nature. Priority is given to finding new ways for solution of existing environmental problems and identification of the best international practices, as well as issues of environmental management, medical-environmental researches, innovative research in biotechnology, biochemistry, genetics, human ecology, plant and animal physiology, constructive geography, ecology and sustainable environmental management. The issues of development and methodological researches in national higher education in geographic, biological and environmental sciences are presented.

For scientists and specialists-ecologists, biologists, geographers, as well as for teachers, graduate students, masters and students of higher educational establishments of Ukraine and other countries without any restrictions

Journal is a professional edition in the field of geographical and biological sciences.
Order of MES of Ukraine Nr 409 of March 17, 2020

Approved for printing by the decision of the Academic Council of V.N. Karazin Kharkiv National University
(Minutes Nr 11, dated October 25, 2021)

Editor-in-chief: **Krainiukov O. M.**, DSc (Geography), Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;
Deputy Editor: **Titenko, G. V.**, PhD (Geography), Assoc. Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;
Executive Secretary: **Utkina K. B.**, PhD (Geography), Assoc. Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;
Technical Secretary: **Baskakova L. V.**, V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine.

THE EDITORIAL BOARD

Adamenko M. I., DSc (Technical), Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;
Biedunkova O. O., DSc (Biology), Prof., National University of Water and Environmental Engineering, Ukraine;
Boyko S., PhD, Forest Culture Center in Goluchow, Poland;
Gavardashvili G., DSc (Technical Sciences), Prof., Ts. Mirtskhulava Water Management Institute of Georgian Technical University, Georgia;
Grytsenko A. V., DSc (Geography), Prof., Scientific and Research Institution "Ukrainian Scientific and Research Institute of Ecological Problems", Ukraine;
Donica A., DSc (Geography), Institute of Ecology and Geography, Moldova;
Edirippulige S., DSc (Geography), University of Queensland, Australia;
Zholtkevych G. M., DSc (Technical Sciences), Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;
Kiousopoulos J., PhD, Prof., University of West Attica, Greece;
Krainiukova A. M., DSc (Biology), Prof., Scientific and Research Institution "Ukrainian Scientific and Research Institute of Environmental Problems", Ukraine;
Krivtsov V., PhD, University of Edinburgh, United Kingdom;
Kulbachko Y. L., DSc (Biology), Prof., Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine;
Kucher A. V., PhD (Pedagogy), V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;
Maksymenko N. V., DSc (Geography), Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;
Mlynarchik K., DSc, Prof., University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Poland;
Nachtnebel H.-P., DSc (Technical Sciences), Prof., University of Natural Resources and Life Sciences, Austria;
Nekos A. N., DSc (Geography), Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;
Safranov T. A., DSc (Geology and Mineralogy), Prof., Odessa State Environmental University, Ukraine;
Strashnyuk V. Y., DSc (Biology), Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;
Utevska O. M., DSc (Biology), Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;
Utevsky S. Yu., DSc (Biology), Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;
Tsapko Y. L., DSc (Biology), Prof., National Scientific Center "Institute for soil science and agrochemistry research named after A.N. Sokolovsky", Ukraine;
Chaplygina A. B., DSc (Biology), Prof., H.S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University, Ukraine;
Shabanov D. A., DSc (Biology), Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;
Shkarubo A., PhD, Estonian University of Life Sciences, Estonia.

Editorial Board Address: 6 Svobody Sq., 61022, Kharkiv, V.N. Karazin Kharkiv National University,
The Karazin Institute of Environmental Sciences, office 473a
tel. (057) 707-53-86, 705-09-66, 707-56-36, e-mail: visnykecology@karazin.ua
Web-pages: <http://periodicals.karazin.ua/ecology> (OJS) <http://visnecology.univer.kharkov.ua/>

Double-blind peer review was conducted.

The authors of the published materials are solely responsible for the selection, accuracy of the facts, proper names, etc.
The state registration certificate: KB Nr 21557-11457P dated August 21, 2015

© V.N. Karazin Kharkiv National University,
design, 2021

В вестнике предоставляются результаты теоретических и прикладных исследований в области экологии, географии, биологии, экологической безопасности, охраны окружающей среды и сбалансированного природопользования. Приоритет отдан решению актуальных экологических проблем и лучшим практикам международного опыта их решения, экологическому менеджменту, медико-экологическим исследованиям, инновационным исследованиям в области биотехнологии, биохимии, генетики, экологии человека, физиологии растений и животных, конструктивной географии, экологии и сбалансированного природопользования. Излагаются вопросы организации и методологических исследований национального высшего экологического, биологического, географического и природоохранного образования.

Для ученых и специалистов-экологов, биологов, географов, а также преподавателей, аспирантов, магистров и студентов высших учебных заведений Украины и других стран без каких-либо ограничений

Вестник является специализированным изданием в области географических и биологических наук (кат. Б)
Приказ МОН Украины от 17.03.2020 № 409

Утверждено к печати решением Ученого совета Харьковского национального университета
имени В.Н. Каразина (протокол № 11 от 25.10.2021 г.)

Главный редактор:

Крайнюков А. Н., д-р геогр. наук, проф., Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина;

Заместитель главного редактора:

Титенко А. В., канд. геогр. наук, доц., Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина;

Ответственный секретарь:

Уткина К. Б., канд. геогр. наук, доц., Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина;

Технический секретарь: **Баскакова Л. В.**, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина.

Редакционная коллегия:

Адаменко Н. И., д-р техн. наук, проф., Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина;

Бедункова О. А., д-р биол. наук, проф., Национальный университет водного хозяйства и природопользования;

Бойко С., д-р философии, Варминско-Мазурский университет, Польша;

Гавардашвили Г., д-р техн. наук, проф., Институт водного хозяйства имени Ц. Мирцхулава Технического университета Грузии, Грузия;

Гриценко А. В., д-р геогр. наук, проф., НДУ «Украинский НИИ экологических проблем»;

Доника А., д-р географии, Институт экологии и географии, Молдова;

Едирипулиге С., д-р географии, Университет Квинсленда, Австралия;

Жолткевич Г. Н., д-р техн. наук, проф., Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина;

Киосопоулос Дж., Д-р философии, проф., Афинский университет прикладных наук, Греция;

Крайнюкова А. Н., д-р биол. наук, проф., НДУ «Украинский НИИ экологических проблем»;

Кривцов В., д-р философии, Эдинбургский университет, Великобритания;

Кульбачко Ю. Л., д-р биол. наук, проф., Днепропетровский национальный университет имени Олеса Гончара;

Кучер А. В., канд. пед. наук, Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина;

Максименко Н. В., д-р геогр. наук, проф., Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина;

Млынарчик К., д-р, проф., Варминско-Мазурский университет, Польша;

Нахтнебель Х.-П., д-р, проф., Университета природных ресурсов и прикладных наук - ВОРКУ, Австрия;

Некос А. Н., д-р геогр. наук, проф., Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина;

Сафранов Т. А., д-р геол.-мин. наук, проф., Одесский государственный экологический университет;

Страшнюк В. Ю., д-р биол. наук, проф., Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина;

Утевская О. М., д-р биол. наук, проф., Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина;

Утевский С. Ю., д-р биол. наук, проф., Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина;

Цапко Ю. Л., д-р биол. наук, с.н.с., ННЦ «Институт почвоведения и агрохимии имени А. Н. Соколовского НААН»;

Чапльгина А. Б., д-р биол. наук, проф., Харьковский национальный педагогический университет им. Г. С. Сковороды;

Шабанов Д. А., д-р биол. наук, проф., Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина.

Шкарубо А., д-р философии, Эстонский университет наук о жизни, Эстония;

Адрес редакционной коллегии: 61022, Харьков, площадь Свободы, 6, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, учебно-научный институт экологии, комн. 473а

тел. (057) 707-53-86, 705-09-66, 707-56-36, e-mail: visnykecology@karazin.ua

Web-pages: <http://periodicals.karazin.ua/ecology> (OJS) <http://visnecology.univer.kharkov.ua/>

Статьи прошли двойное «слепое» рецензирование.

Авторы опубликованных материалов несут полную ответственность за подбор, точность приведенных фактов, имен и т. п.

Свидетельство о государственной регистрации: КВ № 21557-11457Р от 21.08.2015

ЗМІСТ

ЕКОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОСИСТЕМ

Ель Хадрі Ю., Берлінський М. А., Сліже М. О. Сучасні кліматичні зміни в Чорноморському регіоні.....	8
Муркалов О. Б. Рельєфоутворююча роль льодового фактору в береговій зоні Північно-західної частини Чорного моря.....	20
Коваленко С. А., Пономаренко Р. В., Крайнюк О. В., Северинов О. В. Екологічна оцінка якісного складу поверхневого водного об'єкту (на прикладі річки Псел).....	31

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Чорногор Л. Ф., Некос А. Н., Тітенко Г. В., Чорногор Л. Л. Екологічні наслідки горіння лісових масивів у північній півкулі в 2020 р.: результати моделювання та кількісних розрахунків.....	42
Адамова Г. В. Комплексна еколого-аналітична оцінка системи «автомобіль – дорога – середовище» на прикладі ділянки дороги М-29.....	55
Крайнюк О. В., Буц Ю. В., Пономаренко Р. В., Барбашин В. В., Лоцман П. І. Техногенний вплив складу золошлакових відходів Зміївської теплоелектростанції на педосферу.....	70
Кравченко І. В., Суворін О. В. Оцінка впливу викидів Северодонецької ТЕЦ на здоров'я міського населення.....	81
Валерко Р. А. Вміст нітратів у підземних водах та оцінка потенційних ризиків для здоров'я сільського населення Новоград-Волинського району Житомирської області.....	92
Івашура А. А., Борисенко О. М. Аналіз екоусвідомленої харчової поведінки як фактора формування екологічної сталості.....	101

БІОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Федоряк М. М., Тимочко Л. І., Шкробанець О. О., Жук А. В., Делі О. Ф., Подобівський С. С., Миколайчук В. Г., Калиниченко О. О., Легета У. В., Зароченцева О. Д. Результати щорічного моніторингу зимових втрат бджолиних колоній в Україні: зимівля 2019–2020 рр.....	111
Коваль І. З. Ефективність дії газів на очищення води з однаковим мікробним навантаженням.....	125
Матяшук Р. К., Ткаченко І. В. Пилок рослин чагарникового ярусу міського зеленого простору як індикатор стану урбоекосистеми (на прикладі представників роду Форзиція).....	135
Правила для авторів.....	157

CONTENTS

ECOLOGICAL RESEARCHES OF GEOSYSTEM

El Hadri Y., Berlinsky N. A., Slizhe M. O. Modern Climate Change in the Black Sea Region.....	8
Murkalov O. B. Relief-Forming Role of the Ice Factor in the Coastal Area of the North-West Part of the Black Sea.....	20
Kovalenko S. A., Ponomarenko R. V., Kraynyuk O. V., Sevrynov O. V. Ecological Assessment of Quality Composition of Surface Water Body (on the Example of Psel River).....	31

ENVIRONMENTAL ECOLOGICAL SAFETY

Chernogor L. F., Nekos A. N., Titenko G. V., Chornohor L. L. Ecological Consequences from Forest Burning in the Northern Hemisphere in 2020: Results of Modeling and Quantitative Calculations.....	42
Adamova G.V. Comprehensive Ecological and Analytical Assessment of the “Car-Road-Environment” System on the Example of the Section of the Road M-29.....	55
Kraynyuk O. V., Buts Y. V., Ponomarenko R. V., Barbachin V. V., Lotsman P. I. Technogenic Influence of the Composition of Ash Waste from the Zmiiv Power Plant on the Pedosphere.....	70
Kravchenko I. V., Suvorin O. V. Assessing the Impact of Emissions of Severodonetsk Cogeneration Plant on the Health of the Urban Population.....	81
Valerko R. A. Nitrate Content in Groundwater and Assessment of Potential Risks for Health of the Rural Population in Novograd-Volyn Raion Zhytomyr District.....	92
Ivashura A. A., Borysenko O. M. Analysis of Eco-Conscious Food Behavior as a Factor of Ecological Sustainability Formation.....	101

BIOLOGICAL RESEARCH

Fedoriak M. M., Tymochko L. I., Shkrobanets O. O., Zhuk A. V., Deli O. F., Podobivskiy S. S., Mikolaychuk V. G., Kalynychenko O. O., Leheta U. V., Zarochentseva O. D. Results of Annual Monitoring of Honey Bee Colony Winter Losses in Ukraine: Winter 2019–2020.....	111
Koval I. Z. Effectiveness of Using Gases for Water Purification with the Same Microbial Load.....	125
Matiashuk R. K., Tkachenko I. V. The Pollen of Plants of the Shrub Layer in the Urban Green Space as an Indicator of the State of Atmospheric Air of the City (on the Example of Representatives of the Genus <i>Forsythia</i>).....	135
Instructions for Authors.....	157

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОСИСТЕМ

Эль Хадри Ю., Берлинский Н. А., Слиже М. О. Современные климатические изменения в Черноморском регионе.....	8
Муркалов А. Б. Рельефообразующая роль ледового фактора в береговой зоне северо-западной части Черного моря.....	20
Коваленко С. А., Пономаренко Р. В., Крайнюк Е. В., Северинов А. В. Экологическая оценка качественного состава поверхностного водного объекта (на примере реки Псел).....	31

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Черногор Л. Ф., Некос А. Н., Титенко А. В., Черногор Л. Л. Экологические последствия горения лесных массивов в северном полушарии в 2020 г.: результаты моделирования и количественных расчетов.....	42
Адамова А. В. Комплексная эколого-аналитическая оценка системы «автомобиль-дорога-среда» на примере участка дороги М-29.....	55
Крайнюк Е. В., Буц Ю. В., Пономаренко Р. В., Барбашин В. В., Лоцман П. И. Техногенное влияние состава золошлаковых отходов Змиевской теплоэлектростанции на педосферу.....	70
Кравченко И. В., Суворин А. В. Оценка воздействия выбросов Северодонецкой ТЭЦ на здоровье городского населения.....	81
Валерко Р. А. Содержание нитратов в подземных водах и оценка потенциальных рисков для здоровья сельского населения Новоград-Волынского района Житомирской области.....	92
Ивашура А. А., Борисенко О. Н. Анализ экоосознанного пищевого поведения как фактора формирования экологической устойчивости.....	101

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Федоряк М. М., Тимочко Л. И., Шкробанец А. А., Жук А. В., Дели О. Ф., Подобивский С. С., Миколайчук В. Г., Калиниченко Е. А., Легета У. В., Зароченцева О. Д. Результаты ежегодного мониторинга зимних потерь пчелиных колоний в Украине: зимовка 2019–2020 гг.....	111
Коваль И. З. Эффективность действия газов на очистку воды с одинаковой микробной нагрузкой.....	125
Матяшук Р. К., Ткаченко И. В. Пыльца растений кустарникового яруса городского зеленого пространства как индикатор состояния атмосферного воздуха мегаполиса (на примере представителей рода Форзиция).....	135
Правила для авторов.....	157

ЕКОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОСИСТЕМ

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-01>

УДК (UDC): 551.582, 551.583

Ю. ЕЛЬ ХАДРІ¹, Ph.D.,

старший викладач кафедри океанології та морського природокористування

e-mail: magribinets@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3690-0927>

М. А. БЕРЛІНСЬКИЙ¹, д-р геогр. наук, проф.,

завідувач кафедри океанології та морського природокористування

e-mail: nberlinsky@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4576-4958>

М. О. СЛІЖЕ¹, канд. геогр. наук,

старший науковий співробітник

e-mail: magribinetsm@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6398-4188>

¹Одеський державний екологічний університет

вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна

СУЧАСНІ КЛІМАТИЧНІ ЗМІНИ В ЧОРНОМОРЬСЬКОМУ РЕГІОНІ

Актуальність. Спостережувані в останні десятиліття кліматичні зміни в регіоні створюють певні ризики для економік країн Причорномор'я, а також можуть мати значний негативний вплив на стан наземних і морських екосистем. Чорне море значно впливає на клімат південно-східної частини Європейського континенту, формуючи регіональні кліматичні особливості в даному районі. Розробка заходів з адаптації до зміни клімату вимагає проведення збору та аналізу даних про стан кліматичної системи, сучасні характеристики взаємодії між її елементами.

Мета. Огляд та аналіз інформації про спостережувані в останні десятиліття регіональні кліматичні зміни для пошуку закономірностей і можливих зв'язків з мінливістю гідрологічного режиму Чорного моря.

Результати. Робота містить інформацію про основні кліматичні характеристики Причорноморського регіону, такі як температура повітря, опади, атмосферний тиск, швидкість вітру, а також показники циклонічної активності.

Висновки. В останні десятиліття в Чорноморському регіоні відзначається збільшення температури повітря, викликане зміною великомасштабної циркуляції атмосфери, у вигляді збільшення повторюваності процесів антициклонічного характеру, що призводить до зниження кількості хмарності і зростання кількості короткохвильової радіації, яка надходить до підстильної поверхні. При цьому, з середини 2000-х років збільшення середньорічної температури повітря зросло. На більшій частині регіону спостерігається збереження середньорічної кількості опадів, за винятком східної частини Чорноморського узбережжя Туреччини і прибережних районів Грузії, де відзначається збільшення як кількості опадів, так і повторюваності випадків екстремальних опадів. У той же час, має місце деяке зростання, як інтенсивності, так і суми зимових опадів над акваторією Чорного моря. Швидкість вітру в цілому в Чорноморському регіоні демонструє зниження своїх значень, при деякому збільшенні в західній частині акваторії Чорного моря, що також пов'язано зі зміною особливостей циркуляційних процесів, які розвиваються над Південно-Східною Європою.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: Чорноморський регіон, Чорне море, зміна клімату, температура, опади, швидкість вітру

Як цитувати: Ель Хадрі Ю., Берлінський М. А., Сліже М. О. Сучасні кліматичні зміни в Чорноморському регіоні. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2021. Вип. 25. С. 8-20. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-01>

In cites: El Hadri, Y., Berlinsky, N. A., & Slizhe, M. O. (2021). Modern climate change in the Black sea region. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Ecology»*, (25), 8-20. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-01>

© Ель Хадрі Ю., Берлінський М. А., Сліже М. О., 2021



This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Вступ

Географічне розташування Чорного моря має стратегічне значення для шести країн його басейну: України, Румунії, Болгарії, Туреччини, Грузії та Росії. Основними напрямками господарської діяльності на Чорному морі є морські вантажоперевезення, видобуток і транспортування нафти і газу, промисловий видобуток морських біологічних ресурсів, рекреаційно-туристична діяльність в прибережних територіях тощо.

Спостережувані в останні десятиліття кліматичні зміни в регіоні створюють певні ризики для економік країн Причорномор'я, а також можуть мати значний негативний вплив на стан наземних і морських екосистем. При цьому сучасна наука не володіє достатніми достовірними даними щодо реакції екосистем регіону та зворотних зв'язків в умовах, що змінюються. Безповоротне водоспоживання і трансформація річкового стоку, забруднення вод і атмосфери відходами виробництва

істотно позначаються на режимі басейну Чорного моря і перш за все на водному, сольовому і тепловому балансах, які в свою чергу визначають особливості структури вод. Тому вивчення закономірностей формування балансу, з'ясування ролі природних кліматичних і антропогенних чинників в його змінах, оцінка їх на сучасному етапі та в майбутньому для організації заходів щодо запобігання можливих негативних наслідків представляють науковий інтерес і мають практичне значення. Таким чином, розробка заходів з адаптації до зміни клімату в Чорноморському регіоні вимагає проведення збору та аналізу даних про стан кліматичної системи, сучасні характеристики взаємодії між її елементами та їх зворотні зв'язки.

Метою роботи є огляд та аналіз інформації про спостережувані в останні десятиліття регіональні кліматичні зміни для пошуку закономірностей і можливих зв'язків з мінливістю гідрологічного режиму Чорного моря.

Фізико-географічна характеристика регіону дослідження

Чорне море розташовується в південно-східній частині Європи, розділяючи Європейський і Азіатський континенти. Воно є внутрішнім морем, що належить до басейну Атлантичного океану. Через протоку Босфор, що знаходиться в його південно-західній частині, Чорне море з'єднується з Мармуровим морем, через Керченську протоку на північному сході з Азовським. Чорне море має найбільшу протяжність в широтному напрямку, яка становить 1180 км. З півдня на північ його максимальна ширина становить 615 км. Довжина берегової лінії (без лиманів) оцінюється в 4125 км, з яких 1450 км відноситься до Туреччини і 1330 км до України [1].

Площа водозбору річок чорноморського басейну за різними оцінками становить від 1,8 до 2,5 млн км² (рис. 1). Сумарний річковий стік в Чорне море за оцінками різних дослідників [1, 2] знаходиться в межах від 338 до 365 км³/рік. При цьому більше 70% від загального річкового стоку надходить в північно-західну частину акваторії моря, 13% – в південно-східну частину моря з узбережжя Грузії та близько 10% стоку припадає на річки турецького узбережжя. Близько половини всього річкового стоку надходить в море навесні (з березня по червень), восени величина річкового стоку мінімальна.

Вплив Чорного моря на регіональний клімат

Чорне море значно впливає на клімат південно-східної частини Європейського континенту, формуючи регіональні кліматичні особливості в даному районі. Виходячи з того, що погодні умови визначаються розвитком тих чи інших атмосферних процесів, то важливо підкреслити, що кожен такий процес має певний фізичний механізм розвитку, характерний для даного регіону. Регіональні синоптичні процеси визначаються такими

факторами, як радіаційний баланс в різних умовах підстильної поверхні, ступенем континентальності регіону (або ступенем океанічності), процесами загальної циркуляції атмосфери, що охоплюють даний регіон і фізико-географічними особливостями регіону.

Радіаційний баланс Чорного моря практично протягом усього року позитивний. Найбільші його значення відзначаються в літні місяці з максимумом в липні

(410-430 МДж/м²). Спостережувані в окремі роки і місяці відхилення радіаційного балансу від описаного режиму обумовлені поєднанням величини сумарної радіації, ефективного випромінювання, що визначаються головним чином хмарністю, і альбедо.

Хмарність знижує надходження прямої сонячної радіації на 50-60% і в той же час збільшує потоки розсіяної радіації в 1,5 рази. В результаті при реальних умовах хмарності річний прихід сумарної радіації над Чорним морем коливається в межах 3770-5860 МДж/м² при загальному збільшенні з півночі на південь.

За даними [1] тепловий баланс Чорного моря в середньому урівноважений (прихід тепла приблизно дорівнює витраті). При цьому, північна частина моря в цілому за рік віддає більше тепла, а південна – отримує. З березня по серпень море отримує тепло, а з вересня по лютий-березень віддає. Міжрічні коливання в основному визначаються змінами елементів видаткової частини балансу, залежними від коливань гідрометеорологічних умов. Отже, великі розміри Чорного моря, а також фізичні властивості його водної маси роблять його найважливішим приймачем і акумулятором сонячної енергії в регіоні. Саме тому радіаційний баланс на морі більше, ніж на суші. Різниця між ними обумовлена головним чином відмінностями в поглиненій радіації. Контраст

радіаційного балансу, а також інших складових теплового балансу поверхні моря і суші має велике погодно-кліматоутворююче значення, зокрема, у розвитку бризової циркуляції.

Різниця складових теплового балансу на морі та суші визначає процес трансформції повітряних мас над відповідними поверхнями. Над Чорним морем повітряні маси переважно звожуються, про що свідчать великі витрати тепла на випаровування. Над прилеглим до моря суходолом повітряні маси, навпаки, головним чином втрачають вологу і в залежності від знаку і величини турбулентного потоку тепла в різні сезони року прогриваються або охолоджуються. Нарешті, водна поверхня відрізняється невеликою шорсткістю в порівнянні з поверхнею суші. Це викликає великі швидкості вітру над морем. Однак шорсткість водної поверхні збільшується разом зі збільшенням швидкості вітру, що підсилює вплив моря на фізичні властивості (температуру, вологість та ін.) повітряної маси, яка протікає над ним.

Таким чином, Чорне море надає пом'якшувальну дію на континентальність клімату, що проявляється в зменшенні амплітуд добового і річного ходу температури повітря, підвищеної вологості, більшій кількості хмарності та збільшеній кількості опадів в прибере-



Рис. 1 – Водозбірний басейн Чорного моря [3]

Fig. 1 – Watershed of the Black Sea [3]

жних районах. Такий вплив поширюється вглиб території України на 140-280 км, а в разі адвекції повітря і більш. Наприклад, взимку на правобережжі часто утворюються адвективні тумани, що виникають при винесенні теплого вологого повітря з Чорного і Середземного морів (в західній і південно-західній периферії баричних гребенів, осі яких орієнтовані зі сходу на захід).

Чорне море надає суттєвий вплив на баланс води в південно-степовій підзоні України. Адвекція з моря впливає на формування складових теплового і водного балансу, що відбувається на кліматі Причорноморських степів. У холодне півріччя адвекція з моря сприяє зволоженню опадами повітря і ґрунту. При малих величинах балансу тепла це призводить до створення взимку в південно-степовій підзоні умов надмірного зволоження. У літній період, розвиток в прибережних районах бризової циркуляції сприяє зменшенню хмароутворення і кількості опадів. Внаслідок цього зростає радіаційний баланс підстильної поверхні, зменшується випаровування і стік, підвищується сухість клімату. Створюються умови, типові для зон з недостатнім зволоженням. У той же час, на відстані 40-50 км від берега, де бризи припиняються, хмарність збільшується і сумарна радіація різко зменшується [4].

На рисунку 2 наведено супутниковий знімок хмарної системи, пов'язаної з бризовою циркуляцією, яка досить чітко простежується у вигляді безхмарної смуги уздовж берегової зони Чорного та Азовського морів і по купчастій хмарності, що виникає в глибині континенту.

В цілому, розподіл середньорічних температур повітря уздовж узбережжя Чорного моря демонструє рівномірне підвищення з півночі на південь від 10°C в районі Одеси, Очакова до півднень, що перевищують 14°C на південному узбережжі від Стамбула до Батумі. Амплітуди сезонних коливань температури зменшується від $22-23^{\circ}\text{C}$ на українському узбережжі Чорного моря до 15°C на берегах Туреччини. В середньому температура повітря на Чорноморському узбережжі становить $12,8^{\circ}\text{C}$, це нижче середньої температури морської води на поверхні на 2°C . У грудні-січні різниця температур води і повітря досягає свого максимуму і становить в прибережній зоні $3-4^{\circ}\text{C}$, що обумовлює утеплюючу дію Чорного моря. У літній період різниця температур води і повітря становить близько -1°C , це призводить до слабшого але все ж охолоджуючого ефекту [1].

Розподіл на узбережжі кількості атмосферних опадів демонструє збільшення від 300-450 мм в рік на північно-західному узбережжі до 2750 мм на узбережжі Грузії в Батумі. В цілому, зона опадів, які перевищують середньорічне значення 1000 мм, охоплює майже все Анатолійське і Кавказьке узбережжя – від Зонгулдака до Туапсе, зі значеннями понад 2000 мм – від Трабзона до Поті. Внутрішньорічний розподіл опадів на південному і кавказькому узбережжі, а також на південному березі Криму, з явним переважанням в холодний сезон року, відноситься до середземноморського типу. В інших частинах узбережжя спостерігається слабке переважання опадів у



Рис. 2 – Бризова хмарність на західному і північно-західному узбережжі Чорного моря, Кримському півострові та північному узбережжі Азовського моря, знімок зроблений супутником Meteosat MSG 20.07.2019 в 12.00 UTC

Fig. 2 – Breeze clouds on the western and northwestern coast of the Black Sea, the Crimean peninsula and the northern coast of the Sea of Azov, Meteosat MSG satellite image July 20, 2019 at 12.00 UTC

теплий період, що більш характерно для континентального клімату [1].

Як було сказано вище, формування регіонального клімату відбувається на тлі процесів загальної циркуляції атмосфери, що розвиваються над даним регіоном. До числа центрів дії атмосфери, що впливають на Чорноморський басейн, відносяться Азорський максимум, а також декілька сезонних баричних утворень, таких як азійський максимум і середземноморська депресія в зимовий період, і аравійська депресія влітку.

Якщо розглядати середньорічне баричне поле, то можна відзначити, що над Чорним морем розміщується барична депресія. У річному ході тиску чітко виділяються два періоди – холодний (жовтень-квітень) і теплий (червень-серпень). Травень і вересень є перехідними місяцями. У квітні починається перебування баричного поля з зимових типів на літні, яка закінчується в травні. Тиск над морями зростає, посилюється Азорський антициклон. Зниження тиску спостерігається на сході України, де закінчується процес руйнування відрогів азійського антициклону. Баричні градієнти зменшуються, відбувається ослаблення циркуляції. З червня по серпень значно посилюється та поширюється на схід Азорський антициклон. У цей період він охоплює всю територію України [4].

На основі аналізу синоптичних карт за 1971-1980 рр. [1] виявлено, що над акваторією Чорного моря в більшості випадків (52%) переважають малоградієнтні баричні поля без вираженого перенесення повітряних мас. Серед типів синоптичних ситуацій (вітрових потоків) переважають північно-східний (13%, взимку до 18%), південно-західний (11%, взимку до 20%) і північний (8%, взимку до 12%) типи. Над морем адвекція повітряних мас з півночі в два рази переважає над південним переносом.

Атмосферний тиск і повторюваність циклонів і антициклонів над Чорним морем найтісніше пов'язані з Північноатлантичним коливанням (ПАК), що викликає зсув траєкторій циклонів. Таким чином, в сукупності з коливанням Східна Атлантика – Західна Росія (СА/ЗР), в негативну фазу якого зростає кількість циклонів над водозбірним басейном Дунаю, ПАК впливає на кількість опадів в регіоні, це зумовлює мінливість річкового стоку і сумарного прісного балансу в Чорному морі [1].

В цілому, до головних особливостей циркуляції над південною частиною Східної Європи в холодне півріччя відноситься розвиток

циклонів на середземноморській гілці ПВФЗ, пов'язаний з антициклогенезом над Західним Сибіром і півднем Європейської частини Росії (ЄЧР) (сибірський антициклон). У тепле півріччя спостерігається зниження активності атмосферних процесів, викликане зміщенням на північ ПВФЗ і зниженням циклонічної діяльності над південними морями, і переважання антициклонічного типу циркуляції [5], з яким пов'язане виникнення посушливих явищ [6-8]. В останні десятиліття на території України спостерігаються добре виражені зміни приземної циркуляції атмосфери, що проявляються в поширенні на схід відрогів Азорського антициклону.

Максимальна кількість (87%) небезпечних і стихійних явищ погоди в Україні пов'язана з циклонічною діяльністю. При цьому, більше половини сильних і дуже сильних опадів, зумовлені циклонами, що переміщуються по території України своїм центром [5]. Серед циклонів, траєкторії яких проходять через територію України можна виділити такі, що безпосередньо зароджуються над

Чорним морем, а також циклони, переміщення яких проходить над його акваторією. Так до 90% траєкторій циклонів, які пролягають через південні, центральні та західні області України утворюються над заходом Чорного моря та Нижньодунайською низовиною, Адриатичним та Егейським морями, і Балканським півостровом. Серед них найбільшу повторюваність мають баричні утворення, які зароджуються на заході Чорного моря і над Нижньо-Дунайською низовиною. Значний відсоток таких циклонів спостерігається в травні-червні. Необхідно відзначити, що наприкінці ХХ ст. відзначається зменшення повторюваності (майже вдвічі) переміщення циклонів з цього регіону на рівнинну територію України [9].

Міжсезонні зміни повторюваності циклонів над Чорним морем [10] за даними за 1952-2000 рр., показали, що найчастіше вони спостерігаються в січні (до 17%), а найменше влітку (7%). Повторюваність антициклонів, на-впаки, має найбільше значення влітку (21%) і найменше взимку (13%) при значній міжрічній мінливості та різноспрямованих тенденціях.

Дослідження циклонічної діяльності в Середземноморсько-Чорноморському регіоні в 1996-2009 рр. за період з січня по березень показало, що з північно-західної частини Середземномор'я на акваторію Чорного моря вийшло 47,5% циклонів.

Найбільш часто (58,5%) Середземноморські циклони виходять в західну зону Чорного моря, з них 30,2% циклонів – з північно-західного району Середземномор'я. У східну зону Чорного моря виходять 17,3% циклонів з Середземного моря, при цьому з південно-західного і центрального районів Середземного моря в Чорне море виходить всього 3-5% циклонів [11].

Менша шорсткість поверхні моря призводить до того, що вже в нижніх шарах атмосфери вітер стає майже градієнтним і дме уздовж ізобар, що робить баричні системи більш стійкими. У той же час, при переході циклону з суші на море тertia в повітрі циклону зменшується. Завдяки цьому вітер посилюється і наближається у напрямку до ізобар, що істотно зменшує вток повітря всередину циклону в нижніх шарах. Це призводить до того, що вже розпочате заповнення циклону може призупинитися або навіть змінитися поглибленням. Коли старий, вже оклюдований циклон переходить зимою з суші на море він, як правило, поглиблюється. Це пояснюється збільшенням над теплим морем вологості та вертикальних градієнтів температури в повітряних масах циклону. У зв'язку зі зростанням нестійкості кінетична енергія збільшується, і заповнення циклону може змінитися поглибленням. Аналогічно влітку циклони можуть поглиблюватися при переході з моря на сильно нагріту сушу, з підвищеною нестійкістю стратифікації повітря.

Повторюваність циклонів, які розвиваються і стаціонарують над Чорним морем, становить в середньому 4 випадки за сезон (грудень-лютий), з найбільшою кількістю випадків в січні [5]. Тривалість перебування циклонів над Чорним морем в середньому 2 доби, але іноді спостерігаються більш тривалі періоди – понад 3 дб. У період активізації чорноморська депресія нерідко розвивається в високе баричне утворення і може істотно впливати на еволюцію, швидкість і напрямок переміщення південних циклонів.

У холодне півріччя над південно-східною частиною Чорного моря можливе виникнення локальних циклонів, пов'язане з орографічною сегментацією циклонів над горами Малої Азії, або утворення місцевих циклонів в умовах вираженої термічної неоднорідності між теплою поверхнею моря і оточуючими її гірськими системами [5].

Крім місцевих циклонів над Чорним морем формується безліч мезомасштабних вихорів, наприклад, так звані «кавказькі вихори»,

які спостерігаються над східною частиною акваторії моря. Дані утворення мають горизонтальний розмір близько 100 км, є невисокими утвореннями (розвиваються нижче рівня 1200 м). Кавказькі мезомасштабні циклонічні вихори над південно-східною частиною моря виникають переважно в літньо-осінній період і мають добре виражений добовий цикл. Крім добового циклу, їх повторюваність має сезонний хід, вихори формуються переважно в липні та серпні, і практично відсутні взимку. Як правило, ці вихори утворюються один за іншим – новий вихор у Кавказького узбережжя починається формуватися вже через кілька годин після того, як згасне попередній. В основному вони є коротко-існуючими – у 77% вихорів час життя не перевищує 8 годин. Виникнення кавказьких вихорів викликано взаємодією північно-східного вітру з Кавказькими горами. До основних причин їх зародження можна віднести досить сильну стійкість атмосфери і потужний спадний потік повітря з високого берега на море, який приводить до підвітряного циклогенезу за рахунок розтягування вертикальних вихрових трубок. До дургорядних факторів належать: структура морського граничного шару, деталі прибережного рельєфу і течія уздовж берега [12].

Сезонні зміни поля тиску викликають сезонні зміни в полі вітру. У квітні і травні на Чорноморському узбережжі України спостерігаються вітри південної складової. При встановленні літнього типу баричного поля (червень-серпень) переважають західні і північно-західні вітри. Стандартні регулярні спостереження за вітром на берегових станціях показують, що для південно-східної частини узбережжя Чорного моря і берега Криму характерні слабкі вітри (середньорічна швидкість вітру до 3 м/с), а в західній та північно-західній частині моря, а також поблизу Керченської протоки спостерігаються помірні вітри (понад 4 м/с, а на деяких станціях понад 5 м/с). Для всього басейну добре виражена внутрішньорічна мінливість, швидкість вітру збільшується від весняно-літнього періоду до осінньозимового в 1,2 - 1,5 рази [1].

Розподіл швидкості вітру над Чорним морем за різними оцінками [13, 14] демонструє, що найбільші значення відзначаються у західній частині моря, а зона слабких вітрів характерна для південно-східної частини. Локальний максимум швидкості вітру розташований в північно-східній частині моря на південь від Керченської протоки.

Напрямок переважаючих вітрів [13] протягом більшої частини року формує циклонічну циркуляцію. Вітри північних напрямків переважають над заходом та над північною акваторією, східні і південно-східні вітри

Спостережувані кліматичні зміни в Чорноморському регіоні

В останні десятиліття в Північно-Східному Причорномор'ї відзначається зміщення межі степового клімату далеко на схід до Каспійського моря, розширюючи при цьому зону континентального клімату. Зона степного клімату на сході Криму виділяється лише при підвищеній просторовій роздільності здатності [15]. До середземноморського клімату віднесена тільки частина південно-західного узбережжя навколо Стамбула, на більшій частині узбережжя переважає помірний клімат (субтропічний або морський) [1].

Температурно-вологісний режим в Україні демонструє зміну в бік збільшення температури при збереженні загальної кількості опадів та їх перерозподілу по території. З 1998 р. аномалії середньорічної температури повітря мають позитивні значення і в деякі роки досягали 1,5-2° С. Аналогічні тенденції відзначаються для середньорічних значень мінімальної і максимальної температури. Оподи в останні десятиліття демонструють збільшення кількості восени, зменшення взимку і нульовий тренд в весняно-літній період [16, 17]. Такі зміни є наслідком зміни великомасштабної атмосферної циркуляції повітря, розпочатої в 1974-1983 рр. [17], під впливом яких на території України значно зросла повторюваність атмосферних процесів, які призводять до виникнення посушливих явищ (антициклонічних типів) [6].

Схожі зміни спостерігаються в причорноморському регіоні Румунії та Болгарії. У центральній частині Румунії тренди середньорічної температури повітря побудовані для періоду 1961-2018 рр. показують статистично значущу позитивну тенденцію (0,27-0,40° С / 10 років). Найбільше зростання середньої сезонної температури відзначається влітку (0,39-0,52° С / 10 років). При цьому, найбільше зростання температури спостерігалось в 2006-2018 рр. [18]. В цілому, на території Румунії кількість опадів (в 1961-2013 рр.) зберігається, з невеликими тенденціями до збільшення восени та зниження в інші сезони на деяких станціях [19]. У південній частині узбережжя Чорного моря спостерігається збільшення середньорічної кількості опадів (до 25 мм в рік / 10 років), в дельті

характерні для сходу і південного сходу. Навесні та влітку в західній частині моря під впливом Азорського максимуму збільшується повторюваність західних, південно-західних і південних вітрів.

Дунаю зменшення опадів (до 200 мм на рік / 10 років) [20].

На Чорноморському узбережжі Болгарії за даними спостережень в 1981-2010 рр. встановлено статистично значущий позитивний тренд середньої сезонної температури повітря (0,4-0,8° С / 10 років) навесні, влітку, восени та збільшення опадів в осінній період (36-37 мм / 10 років) [21].

Аналіз температурно-вологісного режиму Туреччини показав, що на Чорноморському узбережжі збільшилася кількість протягом року днів з максимальною температурою вище 25° С (в середньому збільшення становить 39 днів за 100 років) і кількість днів з добовим мінімумом температури повітря понад 20° С (середній зріст становить 37 днів за 100 років). У західній частині Чорноморського узбережжя спостерігається незначне зниження річної кількості днів з опадами більше 1 мм при збільшенні числа таких днів у східній частині узбережжя. Відзначається також тенденція до збільшення сумарної річної кількості опадів і повторюваності періодів з опадами (одноденних і 5-денних), особливо на сході узбережжя Чорного моря [22].

Порівняльний аналіз рядів температури повітря і опадів за даними спостережень на станціях в трьох регіонах Грузії (узбережжя Чорного моря, Квемо Сванеті і Дедоплісцаро) у 1955-1970 рр. та 1990-2005 рр. показав, що відбулося підвищення середньорічної температури повітря на 0,2° С, 0,4° С і 0,6° С, відповідно. Середньорічні значення абсолютних мінімумів температури збільшилися на 3,0° С, 0,7° С і 0,0° С, відповідно, показуючи тенденцію до зменшення їх зміни з заходу на схід. Абсолютні максимуми температури повітря збільшилися на 1,6° С, 0,5° С і 2,1° С, відповідно. Відзначалося збільшення кількості опадів на 13%, 8% і 6%, відповідно. Найбільше зростання середньорічної кількості опадів спостерігалось на узбережжі Чорного моря в порівнянні зі східною частиною Грузії. Величина ГТК збільшилася на 20% на Чорноморському узбережжі, на 28% в районі західного Квемо Сванеті і зменшилася на 15% в районі Дедоплісцаро в Східній Грузії [23].

У Росії на Чорноморському узбережжі Кавказу (Сочі) в 1961-2011 рр. спостерігалось збільшення середньорічних температур повітря на $0,06^{\circ}\text{C} / 10$ років, а у високогірній зоні Кавказу (Терскол) на $0,01^{\circ}\text{C} / 10$ років, що характеризує досить стабільний термічний режим в цих районах. У той же час в Сочі зростання осінніх температур склало $0,42^{\circ}\text{C} / 10$ років [24]. Аналіз зміни кількості опадів з 1982 по 2014 р. показав, що на Чорноморському узбережжі Краснодарського краю влітку кількість опадів залишається незмінною, в той час як взимку на узбережжі, а також над степовими районами краю, відзначається слабковиражений негативний тренд опадів, що не перевищує, в середньому, $0,2$ мм на добу / 10 років по інтенсивності і 10 мм в місяць / 10 років за місячними сумами опадів. Звертає на себе увагу деяке зростання як інтенсивності, так і суми зимових опадів над акваторією Чорного моря (при цьому на узбережжі цього не відбувається). На узбережжі Чорного моря (Сочі, Червона Поляна) відзначена тенденція зменшення як інтенсивності, так і місячних сум опадів в січні-лютому і в літні місяці, та значне збільшення цих показників у квітні. В листопаді та грудні місячна сума опадів істотно зменшується, в той час як добова практично не змінюється. На цій підставі можна припустити, що на тлі зменшення чи незмінності місячних сум опадів повторюваність окремих екстремальних подій в даному районі збільшується [25].

Однією з основних причин підвищення температури повітря на Чорноморському узбережжі Краснодарського краю може бути статистично значуще зростання сумарної сонячної радіації, яке відзначено над регіоном в останні 30 років і досягає 10 Вт/м^2 за 30 років, що має велику кількість. Цей процес може бути причиною спостережуваного в літній період потепління приповерхневих вод Чорного моря та узгодженого з ним зростання приземної температури практично по всій території Чорноморського узбережжя Краснодарського краю (крім високогірних районів). У свою чергу збільшення температури морської води на поверхні Чорного моря, має викликати збільшення таких параметрів, як конвективна доступна потенційна енергія (CAPE) над морською поверхнею, а також вміст вологості атмосфери. Що і відзначається в літні місяці в південно-східній частині Чорного моря [25]. Посилення конвективної діяльності в регіоні, особливо над морською поверхнею, має приводити до зростання опадів

– по крайній мірі над акваторіями і прилеглими районами узбережжя. Однак, як було показано вище, в більшості випадків це не відбувається, за винятком східної частини узбережжя Туреччини і прибережних районів Грузії.

Результати досліджень режиму вітру показали, що швидкість вітру у поверхні землі за останні 40 років значно знизилася над більшою частиною Східної Європи, в тому числі на північному [26] і західному [19] узбережжі Чорного моря. По відношенню до кліматичних норм зменшення швидкості вітру досягає на деяких станціях $20-50\%$ [27]. Вивчення багаторічного ходу значень швидкості вітру над акваторією Чорного моря [1] показало, що явно виділяється тенденція до зниження вітрової активності в другій половині ХХ століття. У той же час за даними [27] після 2000 р. в західній частині моря відзначається посилення вітру.

Вплив вітру на морську поверхню призводить до утворення дрейфових течій і є одним з основних чинників, що визначає інтенсивність великомасштабної циркуляції в Чорному морі. Дотична вітрова напруга на поверхні моря є головною рушійною силою для циркуляції вод і вітровою хвилювання. Повторюваність хвилювання висотою не менше $7,5$ дм (3 і більше балів) і не менше $12,5$ дм (4 і більше балів) за даними хвилемірних постів Одеса, Херсонський маяк, Ялта і Феодосія демонструє тенденцію до зменшення [27]. Необхідно відзначити, що відкритість хвилюванню з максимальним розгоном хвиль має різне спрямування по румбам горизонту на різних ділянках узбережжя (наприклад, Алушта і Ялта відкриті хвилюванню від східного і південного секторів горизонту, Анапа – західної половини горизонту, Іллічівськ, Одеса, Південний – південної половини горизонту). Найбільш небезпечними напрямками вітру для північно-східній частині Чорного моря є вітри південної чверті, незважаючи на незначну повторюваність (частка сильних вітрів південної чверті на шельфі в сумі досягає 3%), так як на максимальних розгонах вони викликають екстремальне хвилювання і наносять значної шкоди. Найбільша повторюваність напрямків поширення хвиль висотою $1,3$ м і вище і напрямків вітру зі швидкостями 12 м/с і більше в пунктах спостереження за хвилюванням в північно-західному районі Чорного моря, в більшості випадків не збігається, а в деяких відрізняється на 180° [28]. Формування помірних і сильних вітрів в

порту-Південний, Одеса-порт, Іллічівськ-порт відбувається, в основному, при розвитку периферійних синоптичних процесів з проходженням активних фронтів (в 15% відзначається східний і південно-східний перенос), а також при процесах пов'язаних з розвитком циклонічної циркуляції з великими баричними градієнтами [26]. Таким чином, для визначення зв'язку тенденцій міжрічної мінливості штормового хвилювання зі зміною режиму вітру необхідно враховувати зміну

В останні десятиліття в Чорноморському регіоні відзначається збільшення температури повітря, викликане зміною великомасштабної циркуляції атмосфери, у вигляді збільшення повторюваності процесів антициклонічного характеру, що призводить до зниження кількості хмарності і зростання кількості короткохвильової радіації, яка надходить до підстильної поверхні. При цьому, з середини 2000-х років збільшення середньорічної температури повітря зросло.

На більшій частині регіону спостерігається збереження середньорічної кількості

повторюваності помірного і сильного вітру певної спрямованості в конкретній географічній точці.

Крім того, швидкість вітру поряд з температурою і вологістю повітря визначає інтенсивність процесу випаровування з поверхні моря, що в свою чергу формує водний і сольовий баланс. Таким чином, зміна кліматичних показників в регіоні може призвести до зміни гідрологічних характеристик і структури вод Чорного моря.

Висновки

опадів, за винятком східної частини Чорноморського узбережжя Туреччини і прибережних районів Грузії, де відзначається збільшення опадів. У той же час, має місце деяке зростання, як інтенсивності, так і суми зимових опадів над акваторією Чорного моря.

Швидкість вітру в цілому в Чорноморському регіоні демонструє зниження своїх значень, при деякому збільшенні в західній частині акваторії Чорного моря, що також пов'язано зі зміною особливостей циркуляційних процесів в Південно-Східній Європі.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Список використаної літератури

1. Белокопытов В.Н. Климатические изменения гидрологического режима Черного моря / Дис. на соиск. науч. зв. д.геогр.н. Севастополь. 2017. 377 с.
2. Mikhailov V. N. Mikhailova M. V. River Mouths. In: A. Kostianoy, A. Kosarev (Eds) The Black Sea Environment. The Handbook of Environmental Chemistry. Vol. 5, Part Q. Berlin: Springer-Verlag Heidelberg, 2008. P. 91-134 DOI: https://doi.org/10.1007/698_5_061
3. Blogger 2020. URL: http://msofliosgeografia.blogspot.com/2017/04/blog-post_473.html
4. Клімат України. за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. К.: Вид. Раєвського, 2003. 343 с.
5. Семенова І. Г., Нажмудінова О. М. Регіональна синоптика: підручник. Одеський державний екологічний університет. Одеса, 2019. 212 с.
6. Slizhe M., Semenova I., Pianova I., El Hadri Y. Dynamics of macrocirculation processes accompanying by the dry winds in Ukraine in the present climatic period. *Croatian Meteorological Journal*. 2018. Vol. 53. P. 17-29. <https://hrcak.srce.hr/231265>
7. Slizhe M., Semenova I., El Hadri Y. Synoptic Conditions for dry winds in August 2010 in Ukraine. *Journal of Geography, Environment and Earth Science International*. 2018. Vol. 15. N 3. P. 1-11. DOI: <https://doi.org/10.9734/JGEEESI/2018/41323>
8. Semenova I., Slizhe M. Synoptic Conditions of Droughts and Dry Winds in the Black Sea Steppe Province Under Recent Decades. *Frontiers in Earth Science*. 2020. Vol. 8. DOI: <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00069>
9. Балабух В.О. Траєкторії циклонів, що зумовлюють небезпечну і стихійну кількість опадів в Україні у теплий період року. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2004. Вип. 253. С. 103-119
10. Полонский А.Б., Бардин М.Ю., Воскресенская Е.Н. Статистические характеристики циклонов и антициклонов над Черным морем во второй половине XX века. *Морской гидрофиз. журнал*. 2007. № 6. С.47–58
11. Баянкина Т. М., Данова Т. Е. Циклогенез Средиземноморско-Черноморского региона по спутниковым данным. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2020. Т. 17. №3. С. 231–239 DOI: <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-3-231-239>
12. Яровая Д. А., Шокуров М. В. Мезомасштабные циклонические вихри, возникающие над Черным морем вблизи Кавказского побережья. *Морской гидрофизический журнал*. 2012. № 3. С. 14-30

13. Ефимов В. В., Анисимов А. Е. Климатические характеристики изменчивости поля ветра в Черноморском регионе – численный реанализ региональной атмосферной циркуляции. *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2011. Т. 47. № 3. С. 1-13
14. Kara A. B., Hurlburt H. E., Wallcraft A. J., Bourassa M. A. Black Sea mixed layer sensitivity to various wind and thermal forcing products on climatological time scales. *J. Climate*. 2005. Vol. 18. P. 5266-5293. <https://doi.org/10.1175/JCLI3573R2.1>
15. Peel M. C., Finlayson B. L., McMahon T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2007. Vol. 11. P. 1633-1644. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
16. Динаміка середньорічних показників температури повітря і кількості опадів в окремих ґрунтово-кліматичних зонах України. Адаптація агротехнологій до змін клімату: ґрунтово-агрохімічні аспекти: колективна монографія ННЦ “Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського”. Харків: Стильна типографія, 2018. 364 с.
17. Мартазинова В. Ф., Иванова Е. К., Щеглов А. А. Тенденция современного температурно-влажностного режима Украины к аномальности за счет атмосферных процессов в летний сезон. *Наук. праці УкрНДДМ*. 2016. Вип. 268. С. 15-24
18. Arghius V., Muntean L.-O., Baciu N., Macicaan V., Arghius C. Analysis of annual and seasonal air temperature trends in central part of Romania. *Present Environment And Sustainable Development*. 2020. Vol. 14. No. 1. P. 51-61. DOI: <https://doi.org/10.15551/pesd2020141004>
19. Dumitrescu A., Bojariu R., Birsan M. V. et al. Recent climatic changes in Romania from observational data (1961–2013). *Theor Appl Climatol*. 2015. Vol. 122. P. 111-119. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1290-0>
20. Busuioc A., Boroneant C., Baciu M., Dumitrescu A. Observed temperature and precipitation variability in Romania. SEECOF-1. 2008. URL: <https://meteo.hr/SEECOF08/day2/2-19.pdf>
21. Chenkova, N., et al. Air Temperature And Precipitation Variability In Northeastern Bulgaria On The Background Of Climate Change. *Thermal Science*. 2015. Vol. 19(2). P. S381-S390. DOI: <https://doi.org/10.2298/TSCI150430104C>
22. Abbasnia M., Toros N. Trend analysis of weather extremes across the coastal and non-coastal areas (case study: Turkey). *J. Earth Syst. Sci.* 2020. Vol. 129(95). DOI: <https://doi.org/10.1007/s12040-020-1359-3>
23. Снижение трансграничной деградации в бассейне реки Кура – Аракс. Аналитический обзор – Изменение климата. 2013. URL: <https://iwlearn.net/resolveuid/bddb33f66dcc43f186491e1af08a39e7>
24. Ашабоков Б. А., Ташилова А. А., Кешева Л. А., Теунова Н. В., Таубекова З. А. Климатические изменения средних значений и экстремумов приповерхностной температуры воздуха на юге Европейской территории России. *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2017. Вып. 1. С. 5-19. DOI: <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2017-1-5-19>
25. Торопов П. А., Алешина М. А., Семенов В. А. Тенденции изменений климата Черноморско-Каспийского региона за последние 30 лет. *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. 2018. Вып. 2. С. 67-77. URL: https://vestnik5.geogr.msu.ru/jour/article/view/405?locale=ru_RU
26. Ивус Г. П., Агайар Э. В. Физико-статистический анализ и прогноз слабого ветра и инверсий температуры над территорией Северо-Западного Причерноморья: монография. Одесса: ОДЕКУ, Одесса: ТЭС, 2018. 202 с.
27. Ильин Ю. П., Репетин Л. Н., Белокопытов В. Н., Горячкин Ю. Н., Дьяков Н. Н., Кубряков А. А., Станичный С. В. Гидрометеорологические условия морей Украины. Том 2: Черное море. МЧС и НАН Украины, Морское отделение Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института. Севастополь, 2012. 421 с.
28. Евстигнеев В. П., Наумова В. А., Воскресенская Е. Н., Евстигнеев М. П., Любарец Е. П. Ветро-волновые условия прибрежной зоны Азово-Черноморского региона. Севастополь: ИПТС. 2017. 320 с.

Стаття надійшла до редакції 23.08.2021

Стаття рекомендована до друку 12.10.2021

Y. EL HADRI¹, Ph. D.,

Senior Lecturer of the Department of Oceanography and Marine Environmental Sciences

e-mail: magribinets@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3690-0927>

N. A. BERLINSKY¹, DSc (Geography), Professor,

Head of the Department of Oceanology and Marine Environmental Sciences

e-mail: nberlinsky@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4576-4958>

M. O. SLIZHE¹, Ph. D. (Geography),

Senior Researcher

e-mail: magribinetsm@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6398-4188>

¹Odessa State Environmental University,

15, Lvivska St., Odessa, 65016, Ukraine

MODERN CLIMATE CHANGE IN THE BLACK SEA REGION

Climate change in the Black Sea region in recent decades poses certain risks to the economies of countries of region, and may have a significant negative impact on the state of terrestrial and marine ecosystems. The main areas of economic activity in the Black Sea are maritime freight, oil and gas production and transportation, industrial extraction of marine biological resources, recreational and tourist activities in coastal areas, etc. The Black Sea significantly affects the climate

of the south-eastern part of the European continent, forming regional climatic features in the area. The development of measures to adapt to climate change requires the collection and analysis of data on the state of the climate system and the current characteristics of their interaction and feedback.

Purpose. The purpose of this work is to review and analyze information on regional climate change observed in recent decades to find patterns and possible links with the variability of the hydrological regime of the Black Sea.

Results. This paper contains information on the main climatic characteristics of the Black Sea region, such as air temperature, precipitation, atmospheric pressure, wind speed, as well as indicators of cyclonic activity.

Conclusions. In recent decades, the Black Sea region has seen an increase in air temperature caused by changes in large-scale atmospheric circulation, in the form of increased recurrence of anticyclonic processes, leading to a decrease in clouds and an increase in shortwave radiation entering the underlying surface. At the same time, since the mid-2000s, the increase in average annual air temperature has increased. The average annual rainfall is maintained in most parts of the region, with the exception of the eastern part of the Black Sea coast of Turkey and the coastal areas of Georgia, where there is an increase in both rainfall and the frequency of extreme rainfall. At the same time, there is some increase in both the intensity and amount of winter precipitation over the Black Sea. Wind speeds in the Black Sea region as a whole show a decrease in their values, with some increase in the western part of the Black Sea, which is also associated with changes in the peculiarities of circulating processes that develop over South-Eastern Europe.

KEYWORDS: Black Sea region, Black Sea, climate change, temperature, precipitation, wind speed

References

1. Belokopytov, V.N. (2017). *Climate changes in the Black Sea hydrological regime*. Sevastopol. (In Russian)
2. Mikhailov, V.N. & Mikhailova, M.V. (2008). RiverMouths. In: A. Kostianoy and A. Kosarev (Eds.), *The Black Sea Environment. The Handbook of Environmental Chemistry. Vol. 5, Part Q* (pp. 91-134). Berlin: Springer-Verlag Heidelberg. https://doi.org/10.1007/698_5_061
3. Blogger (2020). Retrieved from: http://msofliosgeografia.blogspot.com/2017/04/blog-post_473.html
4. Lipin'skyi, V.M., Dyachuk, V.A., & Babichenko, V.M. (2003). *Climate of Ukraine*. Kyiv: Rayevs'kyi Publ. (In Ukrainian)
5. Semenova, I.H. & Nazhmudinova, O.M. (2019). *Regional weather forecast*. Odessa. (In Ukrainian)
6. Slizhe, M., Semenova, I., Pianova, I. & El Hadri, Y. (2018). Dynamics of macrocirculation processes accompanying by the dry winds in Ukraine in the present climatic period. *Croatian Meteorological Journal*, 53 (53), 17-29. <https://hrcak.srce.hr/231265>
7. Slizhe, M., Semenova, I. & El Hadri, Y. (2018). Synoptic Conditions for dry winds in August 2010 in Ukraine. *Journal of Geography, Environment and Earth Science International*, 15(3), 1-11 <https://doi.org/10.9734/JGEEESI/2018/41323>
8. Semenova, I., & Slizhe, M. (2020). Synoptic Conditions of Droughts and Dry Winds in the Black Sea Steppe Province Under Recent Decades. *Frontiers in Earth Science*, 28 April. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00069>
9. Balabukh V.O. (2004). Cyclone trajectories that cause dangerous and spontaneous precipitation in Ukraine during the warm period of the year. *Scientific Proc. UkrSRGMI*, 253, 103-119 (In Ukrainian)
10. Polonskij, A.B., Bardin, M.Ju. & Voskresenskaja, E.N. (2007). Statistical characteristics of cyclones and anticyclones over the Black Sea in the second half of the twentieth century. *Marine Hydrophysical Journal*, 6, 47-58 (In Russian)
11. Bajankina, T. M. & Danova, T. E. (2020). Cyclogenesis of the Mediterranean-Black Sea region according to satellite data. *Sovr. Probl. DZZ Kosm*, 17(3), 231-239. [10.21046/2070-7401-2020-17-3-231-239](https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-3-231-239) (In Russian)
12. Jarovaja, D.A. & Shokurov, M.V. (2012). Mesoscale cyclonic eddies arising over the Black Sea near the Caucasian coast. *Marine Hydrophysical Journal*, 3, 14-30. (In Russian)
13. Efimov, V.V. & Anisimov, A.E. (2011). Climatic characteristics of wind field variability in the Black Sea region - numerical reanalysis of regional atmospheric circulation. *Izvestiya RAN. Physics of the atmosphere and ocean*, 47(3), 1-13. (In Russian)
14. Kara, A.B., Hurlburt, H.E., Wallcraft, A.J. & Bourassa, M.A. (2005). Black Sea mixed layer sensitivity to various wind and thermal forcing products on climatological time scales. *J. Climate*, 18, 5266-5293. <https://doi.org/10.1175/JCLI3573R2.1>
15. Peel, M. C., Finlayson, B.L., & McMahon, T.A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11, 1633-1644. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
16. *Dynamics of average annual air temperature and precipitation in some soil and climatic zones of Ukraine. Adaptation of agrotechnologies to climate change: soil-agrochemical aspects: collective monograph*. (2018). NSC "Sokolovsky Institute of Soil Science and Agrochemistry". Kharkiv: Stylish printing house. (In Ukrainian)
17. Martazinova, V.F., Ivanova, E.K. & Shheglov, A.A. (2016). The tendency of the modern temperature and humidity regime in Ukraine to anomalies due to atmospheric processes in the summer season. *Scientific Proc. UkrSRGMI*, 268, 15-24. (In Russian)
18. Arghis, V., Muntean, L.-O., Baci, N., Macicaan, V. & Arghius, C. (2020). Analysis of annual and seasonal air temperature trends in central part of Romania. *Present Environment And Sustainable Development*, 14(1). <https://doi.org/10.15551/pesd2020141004>
19. Dumitrescu, A., Bojariu, R., Birsan, M.V. et al. (2015). Recent climatic changes in Romania from observational data (1961-2013). *Theor Appl Climatol*, 122, 111-119. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1290-0>
20. Busuioc, A., Boroneant, C., Baci, M., & Dumitrescu, A. (2008). Observed temperature and precipitation variability in Romania. SEECOF-1. Retrieved from: <https://meteo.hr/SEECOF08/day2/2-19.pdf>

21. Chenkova, N., Nikolova N. (2015). Air Temperature And Precipitation Variability In Northeastern Bulgaria On The Background Of Climate Change. *Thermal Science*, 19(2), S381-S390. <https://doi.org/10.2298/TSCI150430104C>
22. Abbasnia, M. & Toros, H. (2020). Trend analysis of weather extremes across the coastal and non-coastal areas (case study: Turkey). *J Earth Syst Sci*, 129, 95. <https://doi.org/10.1007/s12040-020-1359-3>
23. Reducing transboundary degradation in the Kura - Aras river basin. Policy Brief – Climate Change. (2013). Retrieved from: <https://iwlearn.net/resolveuid/bddb33f66dcc43f186491e1af08a39e7>
24. Ashabokov, B.A., Tashilova, A.A., Kesheva, L.A., Teunova, N.V. & Taubekova, Z.A. (2017). Climatic changes in mean values and extrema of near-surface air temperature in the south of the European territory of Russia. *Fundamental and Applied Climatology*, 1, 5-19. DOI: <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2017-1-5-19> (In Russian)
25. Toropov, P.A., Aleshina, M.A. & Semenov, V.A. (2018). Climate change trends in the Black Sea – Caspian region over the last 30 years. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seria 5, Geografija*, 2, 67-77. Retrieved from https://vestnik5.geogr.msu.ru/jour/article/view/405?locale=ru_RU (In Russian)
26. Iyus, G.P. & Agajar, Je.V. (2018). *Physico-Statistical Analysis and Forecast of Weak Winds and Temperature Inversions over the Territory of the North-Western Black Sea*. Odessa: TES. (In Russian)
27. П'ін, Ю.П., Репетін, Л.Н., Белокopyтов, В.Н., Гор'ячкін, Ю.Н., Д'яков, Н.Н., Кубряков, А.А., & Станічний, С.В. (2012). *Hydrometeorological conditions of the seas of Ukraine. Volume 2: Black Sea*. Sevastopol. (In Russian)
28. Evstigneev, V.P., Naumova, V.A., Voskresenskaja, E.N., Evstigneev, M.P. & Ljubarec, E.P. (2017). *Wind-wave conditions of the coastal zone of the Azov-Black Sea region*. Sevastopol: IPTS. (In Russian)

The article was received by the editors 23.08.2021
The article is recommended for printing 12.10.2021

Ю. ЭЛЬ ХАДРИ¹, Ph.D.,

старший преподаватель кафедры океанологии и морского природопользования
e-mail: magribinets@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3690-0927>

Н. А. БЕРЛИНСКИЙ¹, д-р геогр. наук, проф.,

заведующий кафедры океанологии и морского природопользования
e-mail: nberlinsky@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4576-4958>

М. О. СЛИЖЕ, канд. геогр. наук,

старший научный сотрудник
e-mail: magribinetsm@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6398-4188>

¹ Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина

СОВРЕМЕННЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ЧЕРНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ

Цель. Обзор и анализ информации о наблюдаемых в последние десятилетия региональных климатических изменениях, для поиска закономерностей и возможных связей с изменчивостью гидрологического режима Черного моря.

Результаты. Работа содержит информацию об основных климатических характеристиках Причерноморского региона, таких как температура воздуха, осадки, атмосферное давление, скорость ветра, а также показатели циклонической активности.

Выводы. В последние десятилетия в Черноморском регионе отмечается повышение температуры воздуха, вызванное изменением крупномасштабной циркуляции атмосферы, в виде увеличения повторяемости процессов антициклонического характера, что приводит к снижению количества облачности и росту коротковолновой радиации, поступающей к подстилающей поверхности. При этом с середины 2000-х годов увеличение среднегодовой температуры воздуха возросло. На большей части региона наблюдается сохранение среднегодового количества осадков, за исключением восточной части Черноморского побережья Турции и прибрежных районов Грузии, где отмечается увеличение, как количества осадков, так и повторяемости случаев выпадения экстремальных осадков. Скорость ветра в целом в Черноморском регионе демонстрирует снижение своих значений, при некотором увеличении в западной части акватории Черного моря, что также связано с изменением особенностей циркуляционных процессов, развивающихся над Юго-Восточной Европой.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Черноморский регион, изменение климата, температура, осадки, скорость ветра

Статья поступила в редакцию 23.08.2021
Статья рекомендована в печать 12.10.2021

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-02>
УДК (UDC): 551.4.042+551.467

О. Б. МУРКАЛОВ, канд. геогр. наук,
доцент кафедри фізичної географії, природокористування
та геоінформаційних технологій
e-mail: ugeocoast@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8439-737X>
Одеський національний університет імені І. І. Мечникова
вул. Дворянська, 2, м. Одеса, 65082, Україна

РЕЛЬЄФООУТВОРЮЮЧА РОЛЬ ЛЬОДОВОГО ФАКТОРУ В БЕРЕГОВІЙ ЗОНІ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ ЧОРНОГО МОРЯ

Мета. Визначення ролі льодового фактору в морфолітодинаміці берегової зони північно-західної частини Чорного моря.

Методи. Польові та камеральні роботи проведені в зимові сезони 2005-2019 рр. в північно-західній частині Чорного моря. Роботи включали в себе геометричне нівелювання пляжу та поверхні берегового припаю, буріння льодової товщі, проміри глибин, відбір проб наносів та льодового керну. Вміст наносів в льоді припаю визначався шляхом їх зважування після розтоплення і випарювання льодового керну відомого об'єму.

Результати. На відкритому березі та в межах Одеської затоки спостерігались: формування берегового припаю, насуви льоду і торосів, замерзання поверхні акумулятивних форм, змерзання припаю з поверхнею пляжу та дном, вмержання в лід викинутих на поверхню наносів, формування солових накопичень на поверхні льоду. На пляжі і прилеглому дні відмічені сліди льодового виорювання та гряди льодового напору. При таненні викинутого на берег та похованого в товщі наносів льоду формувались жолоби стоку талих вод, вали з відталих наносів та ями втаювання.

Береговий припай в Одеській затоці в лютому 2006 р. мав товщину 1,0-1,6 м, сформувались тороси висотою 0,8-2,3 м. Середній вміст наносів в припайному льоді дорівнював 15,7 г/м²-111,5 г/м². На захищеній акваторії в межах Одеського берегозахисного комплексу товщина льоду дорівнювала 0,5 м. При повторних промірах зафіксовано тимчасове накопичення наносів в інтервалі глибин 1,5-2,0 м на відстані 30-40 м від урізу. Середній вміст наносів в льоді берегового припаю на захищеній акваторії дорівнював 186,5 г/м². Товщина льоду на поверхні пляжів відкритого берега дорівнювала 0,2-0,5 м. На замерзлій поверхні пляжу формуються прибіжним потоком та штормовим заплескуванням вали з піщаних, гравійно-галькових наносів висотою від 0,4-0,8 м до 1,0 м і об'ємом 1,2-1,4 м³/м.

Висновки. В північно-західній частині Чорного моря вплив льодового фактору характеризується ритмічністю прояву впродовж суворі, помірної і теплої зими. Має в цілому несуттєве значення. На локальних ділянках і в окремі суворі зими здатний викликати значну переробку рельєфу і наносів, призводити до ушкодження гідротехнічних споруд.

Середній вміст наносів в припайному льоді відкритого берегу мінімальний, середній для берегів Одеської затоки та максимальний для штучних пляжів Одеського берегозахисного комплексу. Він зумовлений особливостями формування берегового припаю і гідродинамікою акваторії цих ділянок берега.

Рельєфоутворююча та літодинамічна роль льоду проявляється в блокуванні акваторії від прямого впливу хвилювання; зростанні ролі підльодних течій в динаміці дна; формуванні мезо- і мікрорельєфу пляжів впродовж розвитку і танення берегового припаю; вилученні з пляжів до 10-20% об'єму наносів. Форми рельєфу, які сформувались в результаті дії льодового фактору, несуттєві і існують впродовж часу його дії та зникають після штормів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: берегова зона, льодовий фактор, наноси, рельєф, Чорне море

Як цитувати: Муркалов О. Б. Рельєфоутворююча роль льодового фактору в береговій зоні Північно-західної частини чорного моря. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2021. Вип. 25. С. 20-30. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-02>

In cites: Murkalov, O. B. (2021). Relief-forming role of the ice factor in the coastal area of the northwest part of the Black Sea. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Ecology»*, (25), 20-30. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-02>

© Муркалов О. Б., 2021



This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0.

Вступ

Прояв льодового фактору в береговій зоні підпорядковується закону широтної географічної зональності. Як було зазначено [1, 2] в високих широтах лід ведучий, а на декотрих ділянках берегів єдиний агент підготовки, транспортування та відкладання осадового матеріалу. Механізми його впливу, та тип відкладень залежать від типу льоду: річковий, морський, глетчерний. Провідні закономірності та механізми впливу льодового фактору на берега отримані переважно для умов припливних замерзаючих морів [2-10].

В помірних широтах розвиток льоду характеризується сезонним ходом. Низька солоність морської води, наявність мілководних заток та лиманів з послабленим гідродинамічним режимом, виніс річками прісної води обумовлюють щорічне утворення морського льоду в північно-західній частині Чорного моря. Особливістю льодового режиму є неодноразове утворення та зникнення льоду впродовж однієї м'якої, помірної чи суворої зими [11]. Процеси льодоутворення відрізняються в північній і південній частинах досліджуваного узбережжя. Якщо на півночі області лід формується щорічно, то в південній частині льодоутворення відбувається не завжди і залежить від типу зими та гідрометеорологічних умов. Отже вплив льодового фактору в межах північно-західної берегової області відрізняється в різних її частинах. Сучасні глобальні кліматичні зміни привели до зміни льодового режиму північно-західної частини Чорного моря. В останні 20-30 років згідно з [11,12] на 13-15 % зросла повторюваність м'яких зим, повторюваність помірних та суворих зим зменшилась на 4-5 % та 13-19 % відповідно, приблизно на місяць зменшилась тривалість льодового періоду. Відповідно зменшується і вплив льодового фактору в береговій зоні північно-західної частини.

Дослідження морфолітодинамічної ролі льодового фактору на регіональному рівні в береговій зоні північно-західної частини Чорного моря викладені в роботах [13-15]. Аналіз результатів цих епізодичних спостережень показав, що на зазначеній ділянці узбережжя вплив льодового фактору більш досліджений для берегів заток у порівнянні з відкритим берегом. Увагу приділено тільки геоморфологічній ролі берегового припаю, інші види льоду, наприклад річковий, не досліджувалися. При достатньо доброму вивченні рельєфоутворюючої ролі льодового

фактору в береговій зоні недостатньо вивченим залишається питання його літодинамічної ролі та її кількісної характеристики.

Співставлення результатів дослідження льодового фактору в береговій зоні замерзаючих морів та Чорного дозволило з'ясувати, що в першому випадку літодинамічна роль льодового фактору на окремих ділянках співставними з дією хвиль і течій [1, 2, 8]. В другому випадку вплив льодового фактору має в цілому несуттєве значення, але на локальних ділянках та в окремі суворі зими здатний викликати значну переробку рельєфу та наносів, або привести до пошкодження гідротехнічних споруд [15]. Така різниця пояснюється різним за часом та інтенсивністю впливом льодового фактору в конкретних природних умовах на фоні коливань рівня водойми, температурного, вітрового і хвильового режиму узбережжя.

Відомо, що лід в береговій зоні спричиняє прямий та непрямий вплив на берегові процеси. Такий поділ спрощений і багатьма дослідниками характеризується як умовний [2, 14, 18, 19]. З'ясувалось, що типи впливу льоду на рельєф берегу замерзаючого припливного і незамерзаючого без припливного морів подібні. Прямий механізм впливу льоду на береговий морфолітогенез в межах літоди-намічних осередків проявляється у екарації надводної і підводної частин пляжу, місцевому розмиві, обмеженні товщини і об'ємів рухливих наносів при змерзанні їх товщі, льодовому наносообміні в межах берегової зони і з глибоководною частиною моря. Одночасно з механізмами прямого впливу проявляються непрямі, пов'язані із захистом льодом берегу і дна від дії морського хвилювання і припливів. Це приводить до зростання в динаміці берегової зони ролі не хвильових чинників рельєфоутворення таких як: сезонний прояв коливань температури, випадіння атмосферних опадів, дія вітру на поверхню пляжів та ін.

До непрямих механізмів впливу на береговий морфогенез належать: виключення з-під впливу хвилевих течій і коливань рівня моря частини форм рельєфу під час встановлення припаю; вмержання наносів в льодову товщу при льодоутворенні, бронювання поверхні та зростання стійкості форм рельєфу при змерзанні води під час загасання шторму; виключення рельєфу берегової зони з-під прямого впливу еолового чинника в період змерзання

води на поверхні пляжу, насуві на нього крижини з боку моря, випадіння снігу; формування жолобів стоку і вибоїн від талої води під час танення крижин, шматків льоду, снігу, або випадінні рідких атмосферних опадів.

Прямі та непрямі механізми численні і дуже різноманітні. У природі вони впорядковані і характеризуються певною черговістю прояву, хоча й проявляють себе одночасно, тісно взаємодіють між собою та усіма іншими нехвилевими і гідрогенними чинниками, утворюючи закономірний льодовий режим. Він характеризується ритмічністю і проявляє себе впродовж зими різного типу – суворі, помірної і теплої, якщо формується

морський лід [12]. В умовах мілководної північно-західної частини та широкого розповсюдження піщаних акумулятивних форм існують сприятливі умови для багаторазового формування і руйнування берегового припаю, вмерзання пляжових і донних наносів в припай з подальшим винесенням їх в глибоководну частину, або поверненню на берег. Тому дослідження прояву льодового фактору в береговій зоні незамерзаючого без припливного моря залишається актуальним.

Мета – визначення ролі льодового фактору в морфолітодинаміці берегової зони північно-західної частини Чорного моря.

Методика

Спостереження за льодовим фактором проводились в зимові сезони 2005-2019 рр. в береговій зоні північно-західної частини

Чорного моря (рис. 1). Роботи включали в себе геометричне нівелювання пляжу та поверхні берегового припаю, буріння льодової

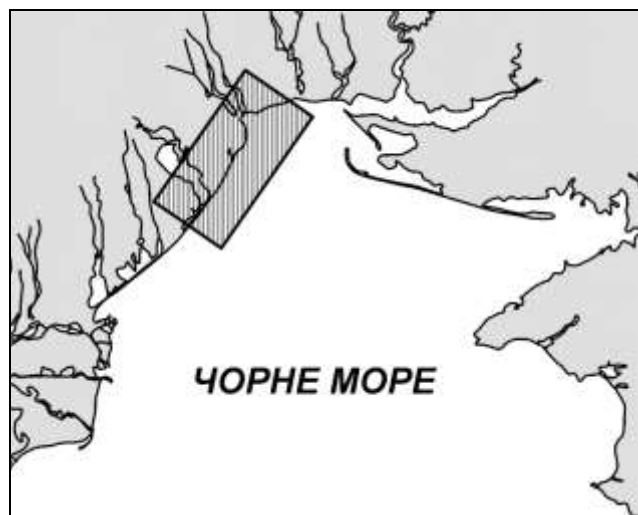


Рис. 1 – Розміщення ділянки спостережень в північно-західній частині Чорного моря (заштрихований квадрат)

Fig. 1 – Location of the observation site in the northwestern part of the Black Sea (shaded square)

товщі, промірні роботи, відбір проб наносів та льодового керну. Дослідження виконано у відповідності з методикою [16, 17]. Рельєф берега та поверхні льоду визначався методом геометричного нівелювання нівеліром Н-3К.

Проміри глибин виконані з поверхні льоду геодезичною рейкою довжиною 4 м. Вздовж розміченого тросу через 5 м ручним буром проводилось буріння лунок і фіксація їх положення кольором. Проміри виконані після буріння всіх лунок. Робоча глибина визначалась з врахуванням товщини зануреного льоду

за виключенням шару шуги. Вміст наносів в льоді визначався шляхом їх зважування після розтоплення і випарювання льодового керна відомого об'єму [15, 17]. Дана методика підана критиці В. Г. Чувардинським [7]. За думкою автора розтоплені зразки льоду не дозволяють достатньо точно судити про кількість матеріалу представленого фракціями гальки та валунів.

Оскільки в наносах пляжів району досліджень переважають піщані фракції, ця методика застосовна, що й показало її опробування.

Результати та обговорення

Прямий та непрямий вплив льоду на береги північно-західної частини Чорного моря формує під впливом східних фізичних механізмів подібні з замерзаючими морями форми рельєфу (рис. 2). На відкритому бе-резі та в межах Одеської затоки спостерігалось формування берегового припаю, насувів льоду і торосів, які блокували берег від впливу хвилювання.

Відмічено замерзання поверхні акумулятивних форм, змерзання припаю з поверхнею пляжу та дном, вмержання викинутих на поверхню припаю наносів в лід, формування еолових накопичень на його поверхні. На пляжі і прилеглому дні відмічені сліди виорювання, формувались гряди льодового напору.

При таненні викинутого на берег льоду формувались жолоби стоку талих вод, спостерігалось формування валів з відталих наносів та воронки відтаювання при таненні похованих в товщі наносів крижин.

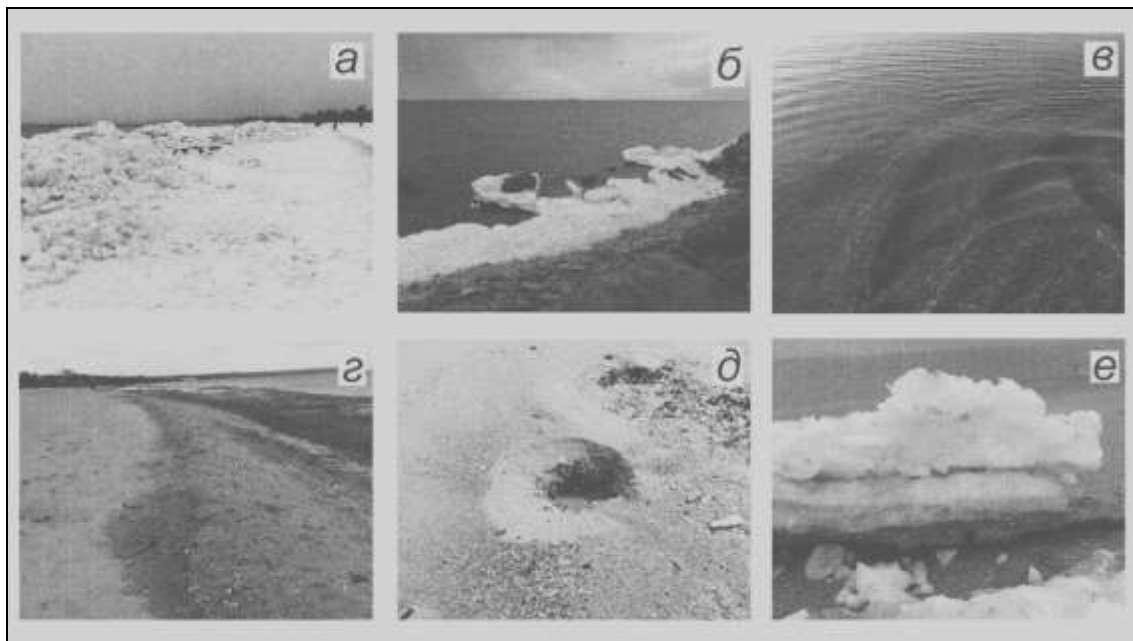
В лютому 2006 р., під час середньої по суворості зими 2005-2006 рр., в Одеській затоці утворився льодовий покрив, потужністю до 0,3 м (рис. 3). У зв'язку з частими вітрами від морської сторони горизонту відбувалося насунення нових шарів льоду на крижини недалеко від берега і безпосередньо на берег. Внаслідок цього від берегової лінії у бік моря товщина льодового покриву зростає. В 100 м від берега вона дорівнювала 1,0 м, а в 200 м - 1,6 м. На відстані 100, 160 і 250 м від берега утворилися гребені торосів, заввишки від 0,8 до 2,3 м. Виявилось, що з віддаленням від узрізу на 100-400 м від берега, товщина льодового покриву в 3-7 разів більше його середньої товщини по ширині припаю. Закономірно більшим виявилось і насичення наносами цієї частини припаю на одиницю площі (1 м²).

Об'ємні розміри пляжу на стаціонарній ділянці складала від 7 до 15 м³/м. Підводний схил тут відрізняється загальним ухилом і рельєфом на різних ділянках. Тому під час вітрових згонів товща льоду стикалася з наносами підводного схилу на різній відстані (від 150 до 700 м) від берега на ділянках I і II (рис. 3).

При опусканні льоду на прибережне дно під час згонів відбувається вмержання наносів в льодову товщу. Це основний шлях насичення шару льоду осадовим матеріалом на цій ділянці берегової зони, як і в умовах замерзаючих морів [2, 14].

В період спостережень 2005-2019 рр. встановлено, що середній вміст наносів в припайному льоді відрізняється на різних ділянках берега затоки. На північному фланзі їх вміст дорівнював 15,7 г/м², в центральній частині – 106,6 г/м² та 111,5 г/м² на південному фланзі. Отримані величини добре співвідносяться з розмірами пляжів, особливостями будови підводного схилу і вітро-хвильовими умовами цих ділянок. Параметри пляжів і запаси наносів тут зростають в південному напрямку, одночасно підводний схил стає більш відмілним, великість наносів зменшується, а вітро-хвильовий режим послаблений наявністю портових споруд. У зими 1953-1984 рр. згідно з [15] в Одеській затоці вміст наносів в льоді зменшувався від 1167-1642 г/м² до 14-19 г/м² в бік моря. Кількість наносів які вмержали в лід на різних ділянках профілю досягала максимум до 120-130 кг на 1 пог. м берега (рис. 4). Суттєву роль на берегах затоки, як вже відмічалось [15], відіграє еоловий фактор. Наноси здуваються на поверхню льоду утворюючи навіяний шар товщиною декілька сантиметрів. В подальшому вони змерзаються з припаєм, формуючи його шарувату структуру (рис. 2, е). При тому, що багаторічне значення акумуляції пляжеутворюючих наносів на пляжах Одеської затоки складає від 0,9 до 1,8 м³/м в рік [15], виходить, що лід може вилучити з пляжу 10-20% усієї маси піщано-черепашкових наносів. Ця величина льодових втрат наносів значна, але не критична, оскільки не може привести до вилучення всіх пляжевих наносів уздовж берега від Одеської затоки до м. Очаківського.

Дослідження льодового фактору в межах Одеського берегозахисного комплексу дозволили встановити ряд особливостей його впливу на штучні пляжі. Головними рисами льодового режиму тут є поступовий розвиток льодового покриву. Відбувається змерзання наносів поверхні штучного пляжу та формування припаю. Формується шарувата товща з наносів та льоду. Припай може бути зруйнований штормами, які викидають на пляж окремі брили льоду в тому числі і з вмержаними наносами. Нерідко викинуті на поверхню льоду та пляжу наноси формують незначні за розмірами вали. Отже льодовий фактор опосередковано впливає на процеси наносообміну між частинами штучного пляжу та диференціації наносів по його профілю.

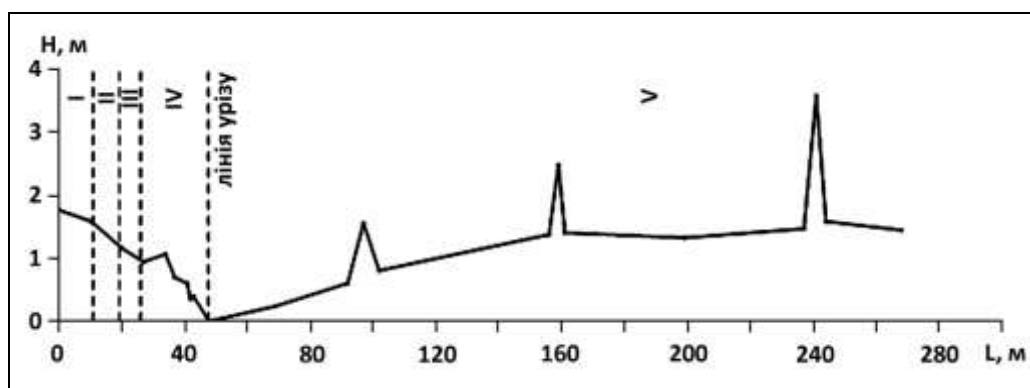


Умовні позначення: а, б – блокування берегу торосами та припаєм;
в – сліди льодового виорювання на дні; г – гряди льодового напору (урізова частина) та гряди матеріалу, які формуються при таненні вичавлених на пляж крижин; д – воронка витаювання;
е – прошарки вмержлих наносів в брилі льодового припаю

Рис. 2 – Прояви прямого та непрямого впливу льодового фактору в береговій зоні північно-західної частини Чорного моря (фото автора)

Symbols: а, б – blocking the shore with hummocks and solder;
в - traces of ice bursting at the bottom; г – ridges of ice pressure (cut-in part) and ridges of material, which are formed during the ice squeezed melting on the coast line; д – hovering funnel;
е – layers of frozen sediments in the block of ice solder

Fig. 2 – Signs of direct and indirect influence of the ice factor in the coastal zone of the north-western part of the Black Sea (photo by the author)

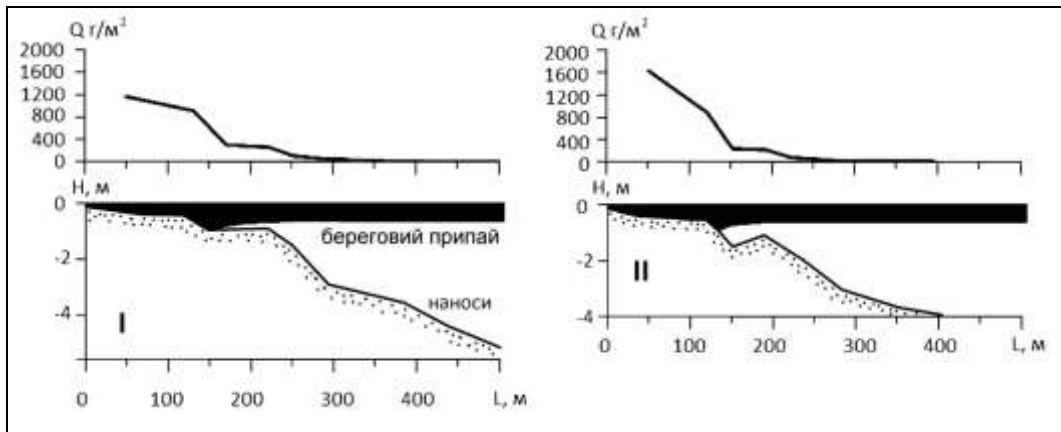


Умовні позначення: Зони: I - IV – пляж (I – шари еолових наносів з снігом і льодом (потужність 0,05 м), II – сухий пісок, який не змерзся, III – сніг і лід без наносів (потужність до 0,2 м), IV – вали піску і гравію, які змерзлися); V – зона суцільного льоду і торосів (висота торосів від 0,3 до 1,61 м).

Рис. 3 – Будова льодового покриву і основні морфологічні зони пляжу в центральній частині Одеської затоки

Symbols: Zones: I - IV – beach (I – layers of aeolian sediments with snow and ice (thickness 0.05 m), II – dry sand that has not frozen, III – snow and ice without sediments (thickness up to 0.2 m), IV – shafts of sand and gravel, which are frozen); V – area of solid ice and hummocks (height of hummocks from 0.3 to 1.61 m).

Fig. 3 – The structure of the ice cover and the main morphological zones of the beach in the central part Odessa Bay



Умовні позначення: I - II – номери профілів.

Рис. 4 – Зміна вмісту наносів в льоду (Q) уздовж припая Одеської затоки (за даними [15])

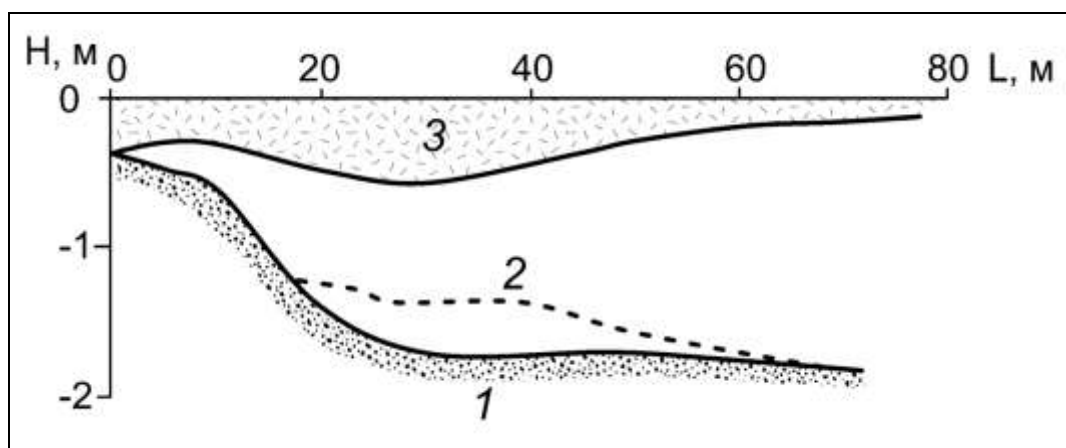
Symbols: I - II – profile numbers.

Fig. 4 – Change in the content of sediments in the ice (Q) along the solder of Odessa Bay (according to [15])

При подальшому зниженні температури повітря і води площа припая зростає. Льодом вкривається вся захищена акваторія обмежена бунами та підводним хвилеломом. На захищеній акваторії утворюється суцільний, інколи порушений торосами льодовий покрив товщиною до 0,5 м (рис. 5), який блокує прямий вплив хвиль та прибійного потоку. З морського боку льодовий покрив рухливий і представлений полями морського блинчатого льоду незначної товщини.

Лід блокує захищену акваторію від прямого впливу хвилювання, але не перешкоджає рельєфоутворюючій діяльності течій

під льодом. Це вдалося з'ясувати при повторних промірах. Повторний промір показав тимчасове накопичення наносів в інтервалі глибин 1,5-2,0 м на відстані 30-40 м від урізу (рис. 5). Також встановлено, що середній вміст наносів в льоді берегового припая тут дорівнює 186,5 г/м². Він суттєво перевищує такий же показник для природних пляжів Одеської затоки. Не зважаючи на це льодовий виніс наносів з штучних пляжів менший, ніж з природних, що пов'язано з меншою довжиною припая, який взаємодіє з дном і пляжем, обмеженням його рухливості



Умовні позначення: 1 – початковий профіль дна, 2 – профіль дна за результатами повторного проміру, 3 – береговий припай.

Рис. 5 – Рельєф підводного схилу захищеної акваторії

Symbols: 1 – initial bottom profile, 2 – bottom profile based on the results of repeated measurement, 3 – shore solder.

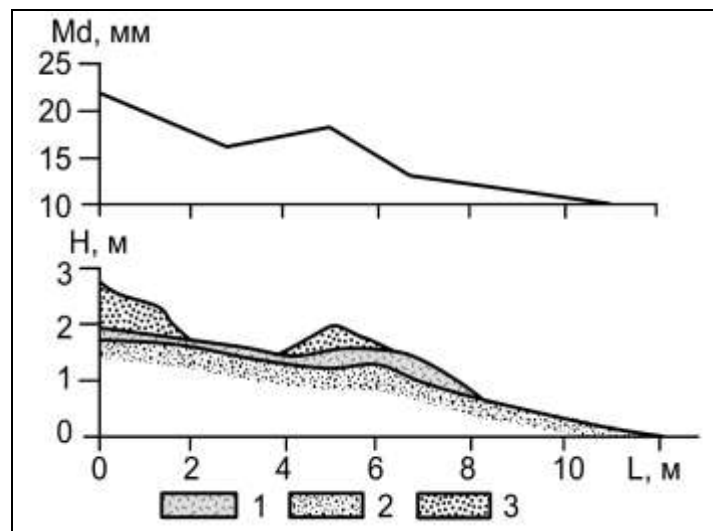
Fig. 5 – Relief of the underwater slope of the protected area

гідротехнічними спорудами та обмеженим проявом еолового фактору. Його можна оцінити в 14,9 кг з погонного метра берега та враховувати при експлуатації штучних пляжів Одеського берегозахисного комплексу.

Як було зазначено вище, вплив льоду на відкритий берег вивчений, в порівнянні із затоками, у меншій мірі. На ділянці берегу від мису Великий Фонтан і до Жебриянської бухти пляжі відкриті дії хвилювань і більш динамічніші в порівнянні з пляжами на ділянках розташованих північніше. Вони характеризуються середнім об'ємом до 15 м³/м. З урахуванням обмеженого часу льодоставу, швидкого танення льоду при його винесенні в море і приглубості підводного схилу моря,

виніс наносів можна оцінити в 1,2-1,5 м³/м впродовж року. Загалом це складає до 8-10% усієї кількості пляжевих наносів на цьому відрізку відкритого морського берегу. При тому, що середні величини живлення пляжів зазвичай складають до 3-4 м³/м-рік пляжеутворюючих наносів [15], льодовий чинник не в змозі серйозно вплинути на розміри пляжів. Це також пов'язано з тим, що частина льоду разом з вмерзлими наносами може бути викинута назад на берег.

Будова пляжу відкритого берегу, яка сформувалась під час суворої зими, та розподіл наносів за величиною представлені на рисунку 6. Товщина льоду на його поверхні під час досліджень дорівнювала 0,2-0,5 м.



Умовні позначення: 1 – суцільний лід, 2 – гравійно-галькові наноси, 3 – галька.

Рис. 6 – Будова і розподіл наносів пляжу відкритого берегу в сувору зиму

Symbols: 1 – solid ice, 2 – gravel-pebble deposits, 3 – pebbles.

Fig. 6 – Structure and distribution of open beach deposits in severe winter

На замерзлій поверхні пляжу формуються прибійним потоком та штормовими заплескуванням вали з піщаних, гравійних або галькових наносів висотою від 0,4-0,8 м до 1 м і об'ємом 1,2-1,4 м³/м. Великість наносів збільшується до тилу пляжу, що пояснюється їх потраплянням в цю частину під час найбільш

значних хвилювань. Незначний стрибок великості відзначається в центрі пляжу - в межах першого валу. Між урізом і валами великість наносів знижується, що пов'язано або з відсутністю наносів на поверхні льоду, або накопиченням дрібних фракцій зворотнім прибійним потоком при його стіканні з валів.

Висновки

В північно-західній частині Чорного моря вплив льодового фактору характеризується ритмічністю прояву впродовж суворої, помірної і теплої зими. Він чинить прямий та непрямий вплив на процеси і форми рельєфу берегової зони і має в цілому несуттєве значення, але на локальних ділянках та в окремі суворі зими здатний викликати значну переробку

рельєфу та наносів, приводити до пошкодження гідротехнічних споруд.

На ділянці дослідження лід насичується наносами наступним шляхом: при опусканні льоду на дно і при його контакті з пляжем (основний механізм); виносі безпосередньо на поверхню і по тріщинам в припаї при значних хвилюваннях; еоловий переніс (на окремих

ділянках може бути порівняним з першим механізмом).

Середній вміст наносів в припайному льоді для відкритого берегу мінімальний, середній для берегів Одеської затоки та максимальний для штучних пляжів Одеського берегозахисного комплексу. Він контролюється параметрами пляжів, характером дна і особливостями вітро-хвильового режиму акваторії.

Рельєфоутворююча та літодинамічна роль льоду проявляється в блокуванні акваторії

від прямого впливу хвилювання; зростанні ролі підльодних течій в динаміці дна; формуванні мезо- і мікрорельєфу пляжів впродовж розвитку і танення берегового припаю; вилученні з пляжу до 10-20% об'єму наносів.

Форми рельєфу, які сформувались в результаті дії льодового фактору, несуттєві і існують впродовж часу його дії та зникають після штормів.

Конфлікт інтересів

Автор заявляє, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автор повністю дотримувався етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Література

1. Лисицын А. П. Процессы океанской седиментации. М.: Наука, 1978. 367 с.
2. Огородов С. А. Роль морских льдов в динамике рельефа береговой зоны. М.: Изд-во МГУ, 2011. 173 с.
3. Мещеряков Н. И. Современное осадконакопление в заливе Грён-Фьорд (западный Шпицберген): диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук: 25.00.28 - Океанология. Мурманск: Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН. 2017. 120 с.
4. Огородов С. А., Мазнев С. В., Бухарин П. И. Ледово-эзарационный рельеф на дне Каспийского и Аральского морей. *Изв. РГО*. 2019. Т. 151. № 2. С. 35–50. URL: <https://doi.org/10.31857/S0869-6071151235-50>
URL: https://www.rgo.ru/sites/default/files/izv_rgo_2019-2_35-50opt.pdf
5. Романенко Ф. А., Репкина Т. Ю., Ефимова Л. Е., Булочникова А. С. Динамика ледового покрова и особенности ледового переноса осадочного материала на приливных осушках Кандалакшского залива Белого моря. *Океанология*. 2012. Т. 52. № 5. С. 768–779.
6. Тарасов Г. А. Количественная оценка терригенных включений морского льда в прибрежной зоне Баренцева моря. *Докл. АН СССР*. 1981. Т. 256. №4. С. 936–940.
7. Чувардинский В. Г. Геолого-геоморфологическая деятельность припайных льдов (по исследованиям в Белом море). *Геоморфология*. 1985. № 3. С. 70-77.
8. Barnes, P., Reimnitz, E., & Fox, D. (1982). Ice Rafting of Fine-Grained Sediment, a Sorting and Transport Mechanism, Beaufort Sea, Alaska. *Journal of Sedimentary Research*, 52, 493-502. URL: <https://doi.org/10.1306/212F7F86-2B24-11D7-8648000102C1865D>
9. Kempema, E.W., Reimnitz, E., & Barnes, P. (1989). Sea ice sediment entrainment and rafting in the Arctic. *Journal of Sedimentary Research*, 59, 308-317. URL: <https://doi.org/10.1306/212F8F80-2B24-11D7-8648000102C1865D>
10. Niels Nielsen (1988). Observations of sea ice influence on the littoral sediment exchange, North Zealand, Denmark, *Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography*, 88:1, 61-67. URL: <https://doi.org/10.1080/00167223.1988.10649258>
11. Гаврилюк Р. В., Берлинский Н. А. Опасные морские гидрологические явления в северо-западной части Черного моря. *Вісник ОНУ. Сер.: Географічні та геологічні науки*. 2019. Т. 24(2). С. 26-39. URL: [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2019.2\(35\).183727](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2019.2(35).183727)
12. Гидрометеорологические условия морей Украины. Том 2: Черное море. / Ю. П. Ильин и др. Севастополь: МЧС и НАН Украины. Морское отделение УНИГИМИ, 2012. 421 с. URL: https://www.researchgate.net/publication/281594572_Gidrometeorologiceskie_uslovia_morej_Ukrainy_Tom_2_Cernoe_more_Hydrometeorological_conditions_of_the_Ukrainian_seas_Vol_2_The_Black_Sea
13. Муркалов А. Б. Морфолитодинамическая роль льда в береговой зоне северо-западной части Черного моря. *Труды V Всероссийской конференции «Ледовые и термические процессы на водных объектах России», г. Владимир, 11–14 октября 2016 г.* М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2016. С. 324-329.
14. Шуйский Ю. Д. Проблемы исследования баланса наносов в береговой зоне морей. Л.: Гидрометиздат, 1986. 239с.
15. Шуйский Ю. Д., Выхованец Г. В. Экзогенные процессы развития аккумулятивных берегов в северо-западной части Черного моря. М.: Недра, 1989. 198 с.
16. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 9. Гидрометеорологические наблюдения на морских станциях и постах. Часть 1. Гидрометеорологические наблюдения на береговых станциях и постах. Четвертое издание. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 313 с. URL: http://ipk.meteorf.ru/images/stories/literatura/rd/nast_gmsp_9_1.pdf

17. Шуйский Ю. Д., Огородников В. И. Условия осадконакопления и основные закономерности формирования гранулометрического состава терригенных осадков Чукотского моря. *Литология и полезные ископаемые*. 1981. № 2. С. 11-25.
18. Зенкович В. П. Основы учения о морских берегах. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 710 с.
19. Мазнев С. В., Огородов С. А. Воздействие ледяных образований на берега и дно мелководных морей и крупных озёр умеренных и субарктических широт. *Лёд и Снег*. 2020 Т. 60 № 4. С. 578-591. URL: <https://doi.org/10.31857/S2076673420040062>

Стаття надійшла до редакції 30.06.2021

Статтю рекомендовано до друку 12.10.2021

O. B. MURKALOV, Ph.D. (Geography),
Associate Professor of the Department of Physical Geography,
Nature Management and Geoinformation Technologies
e-mail: ugeocoast@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8439-737X>
Odessa I. I. Mechnikov National University, Dvorianskaya St., 2, Odessa, 65082, Ukraine

RELIEF-FORMING ROLE OF THE ICE FACTOR IN THE COASTAL AREA OF THE NORTHWEST PART OF THE BLACK SEA

Purpose. To define the role of the ice factor in morpholithodynamics of the coastal area of the North-West part of the Black Sea.

Methods. Field and in-office research was carried out in the North-West part of the Black Sea during the winter seasons of 2005-2019. The research work included geometrical leveling of the beach and the surface of shore-fast ice, drilling of the ice layer, depth sounding, sampling of deposits and of an ice core. The content of deposits in shore-fast ice was determined by weighting them after melting and evaporating a known volume of an ice core.

Results. Formation of shore-fast ice, ice and hummock ride-ups, freezing of the surface of accumulative forms, congelation of fast ice with the beach surface and the bottom, freezing into ice of deposits thrown on the surface of fast ice, formation of meltwater runoff channels, melted deposit banks, melt holes had been observed.

Shore-fast ice in Odesa Bay was 1.0 to 1.6 meters thick. Hummocks 0.8 to 2.3 meters high were formed. The average content of deposits in shore-fast ice in Odesa Bay was 15.7 g/m² to 111.5 g/m². Within the protected water area of Odesa coast protection complex, the thickness of ice was 0.5 m. Repeated measurements revealed a temporary accumulation of deposits at the depths of 1.5 to 2.0 m at the distance of 30-40 m from the water edge. The average content of deposits in shore-fast ice within the protected water area was 186.5 g/m². The thickness of ice on the surface of beaches on the open shore was 0.2-0.5 m. Banks of sand and gravel-pebble deposits between 0.4-0.8 m and 1 m high and with the volume of 1.2-1.4 m³/m were formed on the frozen beach surface by onshore flow and storm overwash.

Conclusions. In the North-West part of the Black Sea, the impact of the ice factor is characterized by rhythmic observation during severe, moderate and warm winter. Generally, it hasn't significant impact. In some-local points during cold winter may results in a significant alteration of the relief and deposits, and causes damage to hydraulic structures.

Ice gets saturated with deposits mostly when submerging to the bottom during ebbing, when contacting the beach, being carried directly onto its surface and along cracks, and during aeolian movement.

For artificial beaches of Odesa coast protection complex, the average content of deposits in ice is defined by peculiarities of formation of shore-fast ice and by hydrodynamics of the water area of these coast sections.

The shapes of relief, formed under impact from the ice factor, are minor; they exist for the duration of its impact, and disappear after the storm ends.

KEYWORDS: coastal area, ice factor, deposits, relief, Black Sea

References

1. Lisicyn, A. P. (1978). Processes of ocean sedimentation. Moscow: Nauka. (In Russian)
2. Ogorodov, S. A. (2011). The role of sea ice in the dynamics of the coastal zone topography. Moscow: MSU Publishers. (In Russian).
3. Meshcheryakov, N. I. (2017). Modern sedimentation in the Gren-fjord (West Spitsbergen). Doctor's Thesis Dissertation, Murmansk Marine Biological institute of the RAS. Retrieved from http://www.mmbi.info/fs/files/986/Mescheryakov_dis.pdf (In Russian).

4. Ogorodov, S. A., Maznev, S.V., & Bukharitsin, P.I. (2019). Ice gouging topography on the Caspian and Aral seas bottom. *Proc. of the Russian Geographical Society*, 151(2), 35–50. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-6071151235-50> (In Russian).
5. Romanenko, F. A., Repkina, T. Yu., Efimova, L. E., & Bulochnikova, A. S. (2012). Dynamics of the ice cover and peculiarities of the ice transportation of the sediments at the tidal flats of the Kandalaksha Gulf of the White Sea. *Oceanology*, 52 (5), 768-779. DOI: <https://doi.org/10.1134/S000143701205013X> (In Russian).
6. Tarasov, G.A. (1981). The quantitative estimation of the terrigenous including of marine ice in an off-shore zone is Barents seas. *Proc. of the USSR Ac. of Sci.*, 256(4), 936–940.
7. Chuvardinskiy, V. G. (1985). Geological and geomorphological activity of fast ice (according to research in the White Sea). *Geomorphology*, 3, 70–77. (In Russian).
8. Barnes, P., Reimnitz, E., & Fox, D. (1982). Ice Rafting of Fine-Grained Sediment, a Sorting and Transport Mechanism, Beaufort Sea, Alaska. *Journal of Sedimentary Research*, 52, 493-502. DOI: <https://doi.org/10.1306/212F7F86-2B24-11D7-8648000102C1865D>
9. Kempama, E.W., Reimnitz, E., & Barnes, P. (1989). Sea ice sediment entrainment and rafting in the Arctic. *Journal of Sedimentary Research*, 59, 308-317. DOI: <https://doi.org/10.1306/212F8F80-2B24-11D7-8648000102C1865D>
10. Nielsen, Niels. (1988). Observations of sea ice influence on the littoral sediment exchange, North Zealand, Denmark, *Geografisk Tidsskrift-Danish. Journal of Geography*, 88(1), 61-67. DOI: <https://doi.org/10.1080/00167223.1988.10649258>
11. Gavrilyuk, R. V. & Berlinsky, N. A. (2019). Hazardous marine hydrological phenomena in the northwestern part of the Black Sea. *Odesa National University Herald. Series: Geography & Geology*. 24(2), 26-39. (in Russian).
12. П'ін, Ю. П. et al. (2012). Hydrometeorological conditions of the Seas of Ukraine. Vol 2: Black sea. Sevastopol. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/281594572_Gidrometeorologiceskie_uslovia_morej_Ukrainy_Tom_2_Cernoe_more_Hydrometeorological_conditions_of_the_Ukrainian_seas_Vol_2_The_Black_Sea (In Russian).
13. Murkalov, A. B. (2016). Morpholithodynamics role of ice in the coastal zone of north-western part of the Black sea. *Proceedings of the Vth All-Russian Conference «Ice and thermal processes on water bodies of Russia»*, Vladimir, October 11–14, Moscow: RSAU – MTAA Publ., 324-329. (In Russian).
14. Shuisky, Yu. D. (1986). Problems of research of balance of deposits in a coastal region of seas. Leningrad: Gidrometeoizdat. (In Russian).
15. Shuisky, Yu. D., & Vykhovanets, G. V. (1989). Exogenous developments of accumulative coast in a northwest part of Black sea. Moscow: Nedra Publ. (In Russian).
16. Manual on the hydrometeorological stations and posts. (1985). Vol. 9. Ch. 1. Hydrometeorological observation on the coastal stations and posts. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ. (in Russian).
17. Shuisky, Yu. D., & Ogorodnikov, V. I. (1981). Terms of sedimentation and basic conformities to law of forming of grain-size distribution of terrigenous fallouts of the Chukotka sea. *Lithology and Mineral Resources*, 2, 11-25. (In Russian).
18. Zenkovich, V. P. (1962). Fundamentals of the theory of the development of marine shores. Moscow: Academy of Sciences of the USSR. (In Russian).
19. Maznev, S. V., & Ogorodov, S. A. (2020). Impact of ice formations on the shore and bottom areas of shallow seas and large lakes of middle and subarctic latitudes. *Ice and Snow*, 60(4), 578-591. <https://doi.org/10.31857/S2076673420040062>. (In Russian).

The article was received by the editors 23.08.2021

The article is recommended for printing 2.10.2021

А. Б. МУРКАЛОВ, канд. географ. наук,
доцент кафедры физической географии, природопользования
и геоинформационных технологий
e-mail: ugeocoast@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8439-737X>
Одесский национальный университет имени И. И. Мечникова,
ул. Дворянская, 2, г. Одесса, 65082, Украина

РЕЛЬЕФООБРАЗУЮЩАЯ РОЛЬ ЛЕДОВОГО ФАКТОРА В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Цель. Определение роли ледового фактора в морфолитодинамике береговой зоны северо-западной части Черного моря.

Методы. Полевые и камеральные работы проведены в зимние сезоны 2005-2019 гг. в северо-западной части Черного моря. Работы включали в себя геометрическое нивелирование пляжа и поверхности берегового припая, бурение ледовой толщи, промеры глубин, отбор проб наносов и ледового керна.

Содержимое наносов во льду припая определялось путем их взвешивания после растапливания и выпаривания ледового ядра известного объема.

Результаты. На участках исследования наблюдалось: формирование берегового припая, надвиги льда и торосов, замерзание поверхности аккумулятивных форм, смерзание припая с поверхностью пляжа и дном, вмерзание в лед выброшенных на поверхность припая наносов, формирование желобов стока талых вод, валов из оттаявших наносов, ямы вытаивания.

Толщина берегового припая в Одесском заливе составляла 1,0-1,6 м. Сформировались торосы высотой 0,8-2,3 м. Среднее содержание наносов в льде припая Одесского залива изменяется от 15,7 г/м²-111,5 г/м² увеличиваясь к портовым сооружениям. На защищенной акватории в пределах Одесского берегозащитного комплекса толщина льда равнялась 0,5 м. При повторных промерах зафиксировано временное накопление наносов в интервале глубин 1,5-2,0 м на расстоянии 30-40 м от уреза, что свидетельствует о развитии подледных течений. Среднее содержание наносов в льду берегового припая на защищенной акватории равняется 186,5 г/м². Толщина льда на поверхности пляжей открытого берега равнялась 0,2-0,5 м. На замерзшей поверхности пляжа формируются прибойным потоком и штормовым заплеском валы из песчаных, гравийно-галечных наносов высотой от 0,4-0,8 м до 1 м и объемом 1,2-1,4 м³/м.

Выводы. В северо-западной части Черного моря влияние ледового фактора характеризуется ритмичностью проявления на протяжении суровой, умеренной и теплой зимы. Оно проявляется в прямом и непрямом воздействии и приводит к значительной переработке рельефа и наносов, нередко сопровождается повреждением гидротехнических сооружений.

Лед насыщается наносами преимущественно при опускании на дно во время сгонов, контакте с пляжем, выносе непосредственно на его поверхность и по трещинам, при эоловом переносе.

Среднее содержание наносов во льду максимальное на открытом берегу, среднее на берегах Одесского залива и максимальное в пределах Одесского берегозащитного комплекса. Оно определяется особенностями формирования берегового припая и гидродинамикой акватории этих участков берега.

Формы рельефа, которые сформировались в результате действия ледового фактора, незначительные и исчезают даже после средних по суровости штормов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: береговая зона, ледовый фактор, наносы, рельеф, Черное море

Статья поступила в редакцию 30.06.2021

Статью рекомендовано к печати 12.10.2021

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-03>
УДК 504.453

С. А. КОВАЛЕНКО, аспірант

e-mail: kovalenkos@nuczu.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2323-0856>

Національний університет цивільного захисту України

вул. Чернишевська, 94, Харків, Україна, 61000

Р. В. ПОНОМАРЕНКО, д-р техн. наук, старший науковий співробітник

заступник начальника кафедри пожежної та рятувальної підготовки

e-mail: prv@nuczu.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8445-8251>

Національний університет цивільного захисту України

вул. Чернишевська, 94, Харків, Україна, 61000

О. В. КРАЙНЮК, канд. техн. наук, доц.,

доцент кафедри метрології та безпеки життєдіяльності

e-mail: alenauvarova@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9524-040X>

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, Україна, 61000

О. В. СЕВЕРИНОВ, канд. екон. наук, доц.,

доцент кафедри технологій і безпеки життєдіяльності

e-mail: oleksandr.severynov@m.hneu.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5366-4044>

Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця

проспект Науки, 9-А, м. Харків, Україна, 61000

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКІСНОГО СКЛАДУ ПОВЕРХНЕВОГО ВОДНОГО ОБ'ЄКТУ (НА ПРИКЛАДІ РІЧКИ ПСЕЛ)

Мета: Проведення аналізу якісного складу поверхневого водного об'єкту, задля визначення зміни його екологічного стану.

Методи. Статистичний та системний аналіз зміни екологічного стану за даними інтерактивної карти «Моніторинг та екологічна оцінка водних ресурсів України» річки Псел за 2012 – 2020 роки за показниками: нітрати, нітриги, фосфати, іони амонію, сульфати, хлориди.

Результати. Виявлено, що у річці Псел спостерігається загальне зменшення вмісту фосфатів від посту спостереження 1 до посту спостереження 6, при цьому відмічається суттєве збільшення у с. Бишкінь. Причиною може бути розміщення посту спостереження у населеному пункті, у якому відсутні очисні споруди. Додатково спостерігається збільшення вмісту нітратів, при цьому у с. Камінне та смт. В.Багачка відмічається пониження концентрацій нітратів, яке можливо пов'язане зі споживанням їх фітопланктоном, що повинно приводити до збільшення каламутності та БСК води. Підвищена концентрація нітритів свідчить про інтенсивність розкладу органічних речовин, і затримку окислення NO_2^- до NO_3^- , що чітко свідчить про забруднення поверхневого водного об'єкту. Нітрати та нітриги потрапляють у воду зі стоків промислових і сільськогосподарських підприємств. Зниження концентрації іонів амонію (с. Червоне) може бути пояснено окисленням їх, розчиненням у воді киснем, з утворенням нітрат-іонів. Уздовж усього водотоку спостерігається збільшення вмісту хлоридів. Підвищення вмісту хлориду у с. Бишкінь та с. Камінне зумовлене забрудненням поверхневих водних об'єктів побутовими стічними водами. Спостерігається збільшення вмісту сульфатів. Для виготовлення добрив або хімічних речовин в технологічному процесі на підприємстві використовують сірчану кислоту. Тому можна припустити, що саме скиди підприємством не доочищених вод є причиною збільшення вмісту сульфатів у річці.

Висновки. Проведений аналіз зміни екологічного стану річки Псел на основі даних «Моніторингу та екологічної оцінки водних ресурсів України» за 2015 – 2020 роки дає змогу стверджувати, що річка Псел знаходиться під постійним техногенним впливом, має тенденцію до стійкого погіршення її екологічного стану.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: поверхневі водні об'єкти, пости забору, моніторинг, екологічний стан, Псел

Як цитувати: Коваленко С. А., Пономаренко Р. В., Крайнюк О. В., Северинов О. В. Екологічна оцінка якісного складу поверхневого водного об'єкту (на прикладі річки Псел). *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2021. Вип. 25. С. 31-41. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-03>

In cites: Kovalenko, S.A., Ponomarenko, R.V., Kraynyuk, O.V., & Severynov, O.V. (2021). Environmental assessment of surface water body quality (on the example of the Psel river). *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Ecology»*, (25), 31-41. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-03>

© Коваленко С. А., Пономаренко Р. В., Крайнюк О. В., Северинов О. В., 2021



[This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0.](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Вступ

Водні ресурси є важливим компонентом для життя людини. З кожним роком техногенне навантаження на джерела водопостачання безперервно зростає і питання, пов'язані з якістю води актуальні. Безперервна діяльність людини постійно призводить до погіршення якості води та екологічного режиму річкового стоку. Техногенна діяльність може призводити до регіональних і глобальних змін довкілля. Зміни в якісному складі води з тенденцією до постійного погіршення спостерігаються практично в усіх поверхневих джерелах водопостачання країни. На сьогоднішній день основними проблемами екології, які пов'язані з гідросферою планети, є умови забезпечення населення якісною питною водою та можливості підвищення її якісного показника. Проблема оцінки якості води на сучасному етапі має важливе і першочергове значення та займає центральне місце у водоохоронній діяльності [1]. Екологічна проблема захисту гідросфери на господарчо-техногенному рівні чинить значний вплив на екологічний стан поверхневих водних об'єктів, що потребує моніторингових досліджень з використанням сучасних інтерактивних он-лайн картографічних ресурсів.

Україна належить до держав з недостатнім забезпеченням водними ресурсами. Водні природні ресурси України – це, насамперед, місцевий і транзитний стік річок, водні запаси озер, штучних водойм і підземних горизонтів. У зв'язку з постійним розвитком промисловості відбуваються викиди забруднюючих речовин у атмосферне повітря, у поверхневі водні об'єкти та захоронення небезпечних відходів. Таким чином, у безперервному режимі відбувається забруднення об'єктів навколишнього середовища. Людство прикладає багато зусиль, щоб урегулювати викиди у навколишнє середовище: встановлюють очисні споруди, утилізують відходи, вводять нові процеси на підприємстві, які є екологічно чистими тощо [2].

Для отримання цілісної картини актуального екологічного стану достатньо великих адміністративно-територіальних одиниць промислово розвинутих країн світу, зокрема України, навіть за умови поступового зменшення промислового потенціалу, застосовують екологічний моніторинг. Основною складовою такого моніторингу є процеси отримання необхідних вихідних даних (наприклад, результатів аналізу проб поверхневих вод).

В Україні моніторинг поверхневих водних об'єктів проводиться у межах річкового басейну. У 2018 році Кабінет Міністрів України затвердив Порядок здійснення державного моніторингу

вод, який забезпечує збір, обробку, збереження, узагальнення та аналіз інформації про стан поверхневих водних об'єктів, прогноз його змін, розробку рекомендацій для подальшого прийняття рішення для використання, охорони водних об'єктів та відновлення водних ресурсів. Відповідно до цього Порядку [3] до об'єктів державного моніторингу відносять масиви поверхневих (поверхневі водні об'єкти та їх частини, прибережні води та зони (території), які підлягають охороні) та підземних вод (підземні водні об'єкти та їх частини, зони (території), які підлягають охороні) та морські води в межах територіального моря та виключної морської економічної зони України та зони (території), які підлягають охороні.

Державний моніторинг вод здійснюють Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, Держводагентство, Держгеонадра, ДСНС, а також ДАЗВ (у зоні відчуження та зоні безумовного (обов'язкового) відселення території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи). Згідно Порядку [3] державний моніторинг вод поділяють на декілька видів: діагностичний моніторинг, операційний моніторинг, дослідницький моніторинг та моніторинг морських вод.

Операційний моніторинг проводять щороку з метою оцінки змін, що відбуваються у екологічному і хімічному стані поверхневих водних об'єктів та у кількісному стані та хімічному складі підземних вод. Також досліджують тенденції збільшення концентрацій забруднюючих речовин у водних об'єктах, які спричинені антропогенним впливом на навколишнє середовище. *Діагностичний* моніторинг створено з метою оцінки впливу антропогенного навантаження на поверхневі та підземні водні об'єкти. Для поверхневих водних об'єктів діагностичний моніторинг проводять тільки перший рік державного моніторингу, а для підземних – перші два роки. *Дослідницький* моніторинг проводять лише для поверхневих водних об'єктів з метою встановлення причин, як призводять до неможливості досягнення екологічних норм для вказаних об'єктів. Для проведення дослідницького моніторингу суб'єкти державного моніторингу самостійно визначають пункти відбору проб для проведення моніторингу.

Суб'єкти моніторингу проводять моніторингу за певними показниками та отримані дані відображають у відповідних документах з подальшим аналізом, підведенням підсумків та розробкою рекомендацій, за необхідності [4].

Методи досліджень

У воді головної водної артерії країни – р. Дніпро екологами було виявлено понад 160 забруднювальних речовин, а саме кислоти, луки, мінеральні солі, нафтопродукти і пестициди та інші. Відомо, що у річці виявлено забруднювачі, до яких системи водоочищення не адаптовані [5].

В Україні майже 80% населення забезпечені питною водою з поверхневих джерел. В межах України р. Псел протікає у Сумській та Полтавській області. Входить до басейну річки Дніпро (є лівою притокою річки Дніпро). Довжина річки Псел, що протікає по території України становить 502 км, а всього – 717 км. Площа водозбору річки Псел на території України становить 16,27 тис. км². Витоки розташовані у Російській Федерації, в межах Білгородської області. На річці Псел створено близько 10 невеликих водосховищ. Більшість з них розташовані на ГЕС (Низівська, Маловорожб'янська, Михайлівська, Бобрівська, Шишацька, Остап'євська, Сухорабівська). Правими притоками річки Псел є Олешня, Сумка, Ворожба, Межирічка, Грунь, Вузька, Вовнянка, Балаклійка, Хорол, а лівими – Удава, Сироватка, Вільшанка, Будилка, Боровенька, Веприк, Бобрик, Лютецька [6].

На сьогоднішній день до основних проблем поверхневих вод басейну Дніпра відносять значне погіршення технічного стану гідротехнічних споруд, що в майбутньому загрожує аваріями та забрудненням водойм; відведення дощової каналізації, яке не має достатнього ступеня очищення; систему моніторингу поверхневих водних об'єктів, що перебуває на стадії постійного вдосконалення; неконтрольований скид неочищених комунально-побутових стоків від помешкань, що не мають підключення до централізованої каналізації; недосконалу наявну систему державного управління у сфері використання, охорони і відновлення водних ресурсів, відсутнє чітке розмежування функцій; надмірне заростання водною рослинністю; застосування вітчизняних наукових інновацій у сфері біохімії не в повній мірі; послаблення державного контролю щодо правопорушень у сфері охорони навколишнього природного середовища; несанкціоновану забудову прибережних захисних смуг; велику засміченість берегів [7].

Основними джерелами антропогенного навантаження на поверхневі водні об'єкти в Україні є: промислові стічні води; застарілі системи, водовідведення та очищення стічних вод;

побутові стічні води, в яких переважають фекалії, поверхнево-активні речовини, жири, мікроорганізми, в т.ч. патогенні; атмосферні опади, які містять хімічні речовини повітря промислового походження; опади і талі води із сільськогосподарських угідь із залишками мінеральних добрив і засобів захисту рослин, органічних речовин; стоки з міських вулиць – в них містяться нафтопродукти, феноли, оксиди важких металів; відсутність в деяких регіонах України басейнового принципу управління, контролю та відповідальності за стан поверхневих джерел питного водопостачання [8]. У стічних водах, що містять велику кількість органічних речовин, швидко розмножуються синьо-зелені і бурі водорості, фітопланктон, підвищується БСК. Як наслідок, у водоймищі починають переважати анаеробні процеси, що визначають евтрофікацію (підвищення біологічної продуктивності при накопиченні біогенних елементів під впливом антропогенних чи природних чинників).

Порівняльний аналіз, що проведений за гідроекологічними показниками поверхневих водних об'єктів надає можливість відобразити особливості абіотичної та біотичної складових водних екосистем. На основі такого порівняльного аналізу можливо здійснити і аналіз зміни екологічного стану водних об'єктів. До нормованих показників, які найчастіше використовуються для визначення якості поверхневих водних об'єктів, відносять токсикологічний, який об'єднує нітрити, амонійний азот та важкі метали; рибогосподарський, що об'єднує феноли, нафтопродукти та отрутохімікати; кисневий, що охоплює біологічне споживання кисню (БСК), хімічне споживання кисню (ХСК) та розчинений у воді кисень та санітарно-токсикологічний, що визначає вміст важких металів, мінералізацію та нітрати.

Державне агентство водних ресурсів (ДАВР) [9] України ввело в дію інтерактивну карту «Моніторинг та екологічна оцінка водних ресурсів України». На карті можливо відстежити дані моніторингу поверхневих водних об'єктів за певний проміжок часу за показниками, такими як, нітрати, нітрити, фосфати, іони амонію, сульфати. На основі моніторингових даних ДАВР України було проведено аналіз зміни екологічного стану, за основними показниками річки Псел за 2015 – 2020 роки. Аналіз було проведено на основі даних з 6 постів спостереження річки Псел (рис. 1):

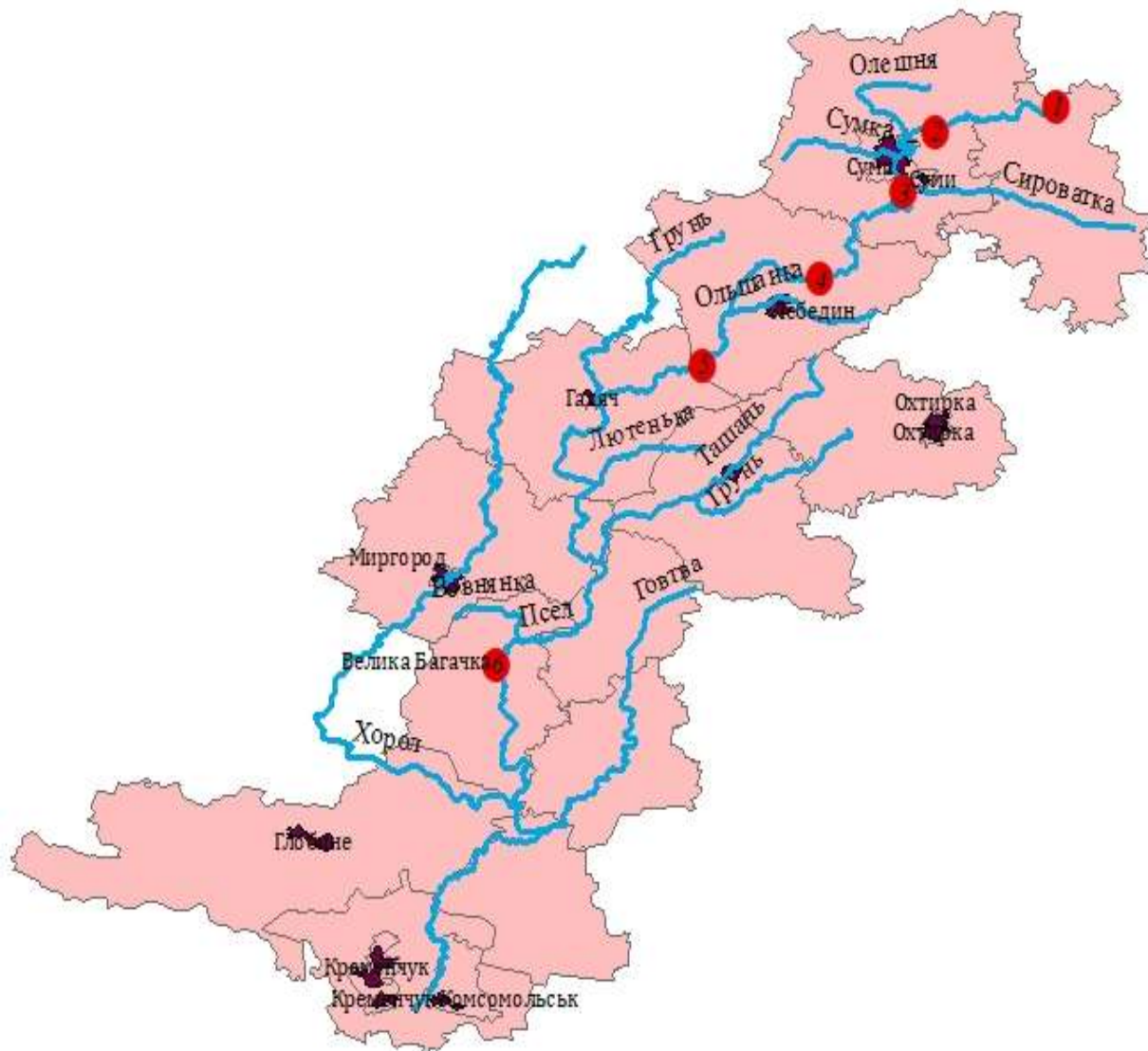


Рис. 1 – Карта-схема розміщення 6 постів спостереження басейну річки Псел, за даними яких проводилось дослідження

Fig. 1 – Map-scheme of placement of 6 observation points on the Psel river basin, used for the study

- 1) 528-й км, Краснопільський район;
- 2) 480-й км, с. В. Чернетчина;
- 3) 447-й км, с. Старе Село Сумського р-ну, (Низівське водосховище), міст через річку (нижче м. Суми);
- 4) 405-й км, с. Бишкінь;
- 5) 350-й км, с. Камінне, кордон Сумської і Полтавської обл.;
- 6) 172-й км, смт. В. Багачка [9, 10].

Результати

На сьогоднішній день оцінка якісних змін (як у термінах абсолютних величин, так і у термінах вірогідностей) поверхневих водних об'єктів виконується шляхом порівняння хімічного складу води на постах заборів проб вище і нижче за течією [12]. Достовірність отриманих результатів має проводитись з врахуванням похибки визначення та осереднення концентрацій речовин, через доцільність врахування умов – сезонної повторюваності формування хімічного складу води в річному циклі кожного року. У зв'язку з цим порівняльний аналіз проведено за

середньорічними показниками, що дозволяє виявити основні тенденції зміни якості води поверхневого джерела для визначення причин їх прояву, а проілюстровано за допомогою спеціалізованих ГІС-технологій [9, 11, 12].

Фосфор – це обов'язковий хімічний елемент необхідний для живих організмів. При потраплянні у поверхневі водні об'єкти він викликає швидкий ріст водоростей, особливо синьо-зелених, що призводить до порушення природної біосистеми. Фосфати негативно впливають на здоров'я людини. При наявності великої кількості у

воді, яка використовується для купання і миття посуду, можливе виникнення дерматитів і подразнень.

Вміст нітратів та нітритів – це показник хімічного складу природної води, що використовується при проведенні екологічної оцінки. Також ця інформація потрібна при вирішенні питань про баланс біогенних елементів, взаємозв'язок між процесами життєдіяльності водних організмів і хімічним складом води. Нітрати потрапляють у водні об'єкти при розкладанні мікроорганізмами білків тваринного і рослинного походження, коли виділяються сполуки амонію, які при контакті з повітрям окислюються до нітритів і нітратів. Наслідком споживання нітратів є утворення метгемоглобіну. Порушується транспортування кисню до тканин людини, в подальшому відбувається порушення роботи нервової системи. Також надлишковий вміст нітратів призводить до порушень підшлункової та щитовидної залоз, до онкологічних захворювань, серцевої недостатності, захворювання нирок, захворювань серцево-судинної системи.

Азот та його сполуки потрапляють у поверхневі водні об'єкти з побутовими та промисловими стоками відходами тваринницьких комплексів та ферм, мінеральними добривами. Підвищений вміст амонію свідчить про погіршення санітарного стану води. Зростання концентрації зумовлене надходженням у ґрунтові води господарсько-побутових стічних вод, азотних та органічних добрив. Вміст амонію у високих концентраціях у питній воді негативно впливає на людський організм. Може підвищуватись артеріальний тиск, відбуваються різноманітні розлади в роботі печінки та нирок. Основним джерелом надходження нітратів та нітритів у навколишнє природне середовище є азотні мінеральні добрива. Джерелом азоту в природних водах є розкладені білкові залишки.

Вміст сульфатів у природних водах змінюється в широких межах і зумовлено вимиванням сульфатвмісних порід або скиданням у водойми промислових і побутових стічних вод. Головним джерелом сульфатів у поверхневих водах є процеси хімічного вивітрювання і розчинення сірководмісних мінералів, в основному гіпсу, а також окислення сульфідів і сірки. Значні кількості сульфатів надходять у водойми у процесі відмирання організмів, окислення наземних і водних речовин рослинного і тваринного походження і з підземним стоком [13].

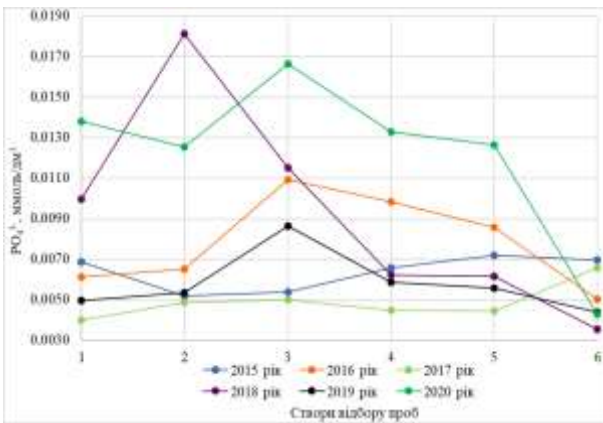
На рисунку 2 наведено вміст забруднюючих речовин по постах спостереження річки Псел в період з 2015 року до 2020 року.

Для відображення та обґрунтування зміни вмісту показників проаналізовано зміни для 2019 року (рис.3-8). З аналізу змінні загального вмісту фосфат-іонів (рис.3) можна зробити висновок, що у річці Псел спостерігається зменшення загального вмісту фосфатів від посту спостереження 1 до посту спостереження 6. При цьому відмічається суттєве збільшення у с. Старе Село (пост спостереження 3). Вважаємо, що причиною є розміщення посту спостереження у населеному пункті, у якому відсутні очисні споруди. Населення може скидати побутові стічні води, які містять шкідливі забруднюючі речовини, у поверхневі водні об'єкти. Фосфати входять до складу пральних порошоків, засобів для миття посуду та ін. На теперішній час в Україні відсутні нормативи для вмісту фосфатів у побутових миючих засобах, але встановлені нормативи вмісту фосфатів у стічних водах, які приймаються до систем централізованого водовідведення [14].

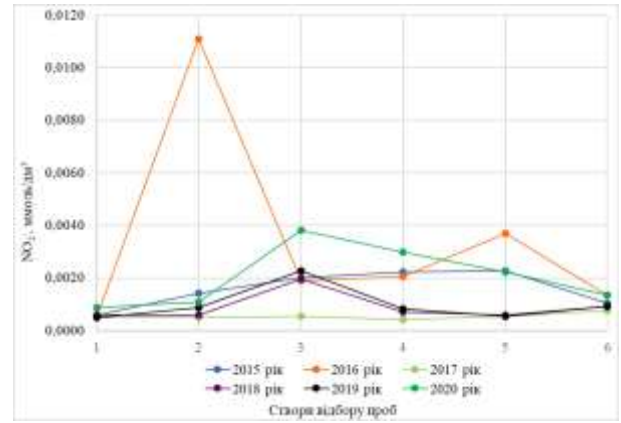
Пониження концентрацій нітратів (рис. 4, пости спостереження 4, 6), вважаємо, пов'язане зі споживанням їх фітопланктоном, що повинно приводити до збільшення каламутності та БСК води. Однією з причин надходження нітратів у поверхневі водні об'єкти (рис. 4) є змив з полів та городів добрив. Підвищена концентрація нітритів свідчить про інтенсивність розкладу органічних речовин, і затримку окислення NO_2^- до NO_3^- , що чітко свідчить про забруднення водойми. Нітрати та нітрити (рис.5) потрапляють у воду зі стоків промислових і сільськогосподарських підприємств. Також розвинене сільське господарство забруднює навколишнє природне середовище, зокрема поверхневі водні об'єкти, мінеральними добривами, які містять забруднюючі речовини, що також стимулює збільшення фітопланктону і сине-зелених водоростів. Підтвердити чи спростувати це припущення на жаль не можливо, тому що немає даних як змінюються каламутність та БСК води на цих постах спостереження.

Амоніак є першою сполукою, що утворюється при розкладі органічних нітрогеновмісних речовин. Зниження концентрації іонів амонію (рис. 6, пост спостереження 4) скоріш за все пов'язано з окисленням їх, розчиненим у воді киснем, з утворенням нітрат-іонів, що підтверджується даними, наведеними на рисунку 4 (пости спостереження 3, 5).

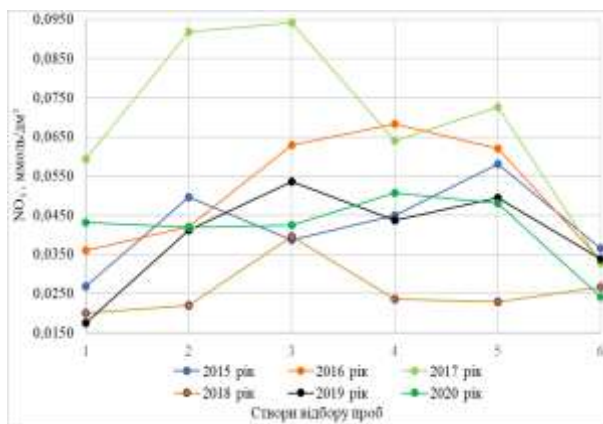
З аналізу зміни вмісту хлоридів (рис. 7) від посту №1 до №6 визначено збільшення вмісту хлоридів. Підвищення вмісту хлориду на постах



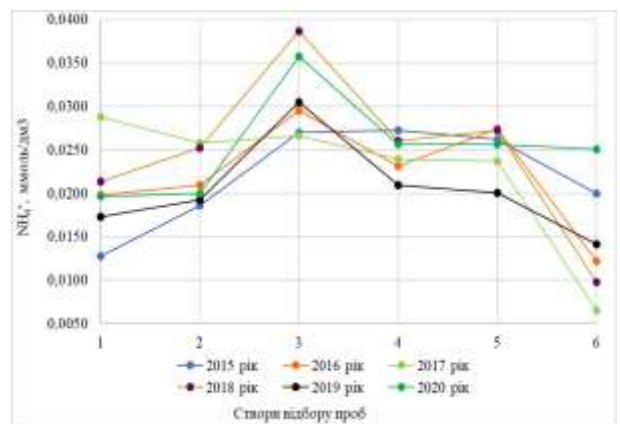
а)



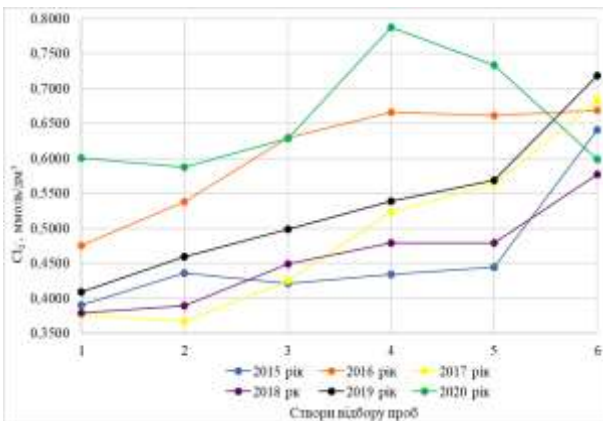
б)



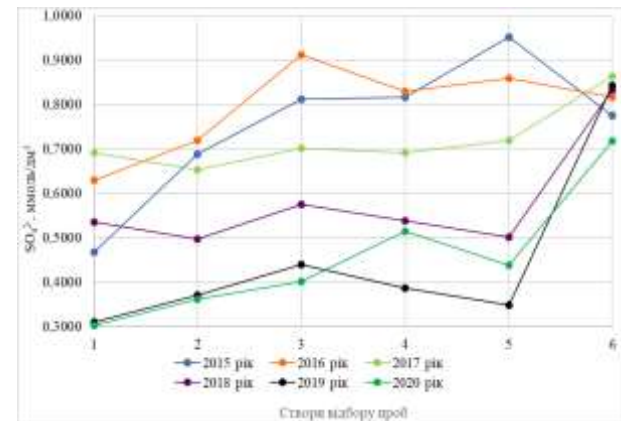
в)



г)



д)



е)

Рис. 2 – Вміст PO_4^{3-} (а), NO_2^- (б), NO_3^- (в), NH_4^+ (г), Cl_2^- (д), SO_4^{2-} (е), ммоль/дм³ по постах забору води річки Псел

Fig. 2 – Content of PO_4^{3-} (a), NO_2^- (b), NO_3^- (c), NH_4^+ (d), Cl_2^- (d), SO_4^{2-} (e), mmol/dm³ on the Psel river water intake point

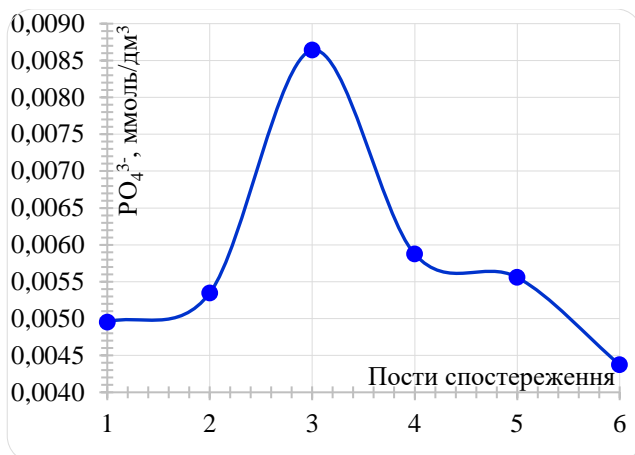


Рис. 3 – Загальний вміст фосфат-іонів (поліфосфатів) по постах заборів води річки Псел за 2019 рік
Fig. 3 – The total content of phosphate ions (polyphosphates) on the water in takes points on the Psel river for 2019

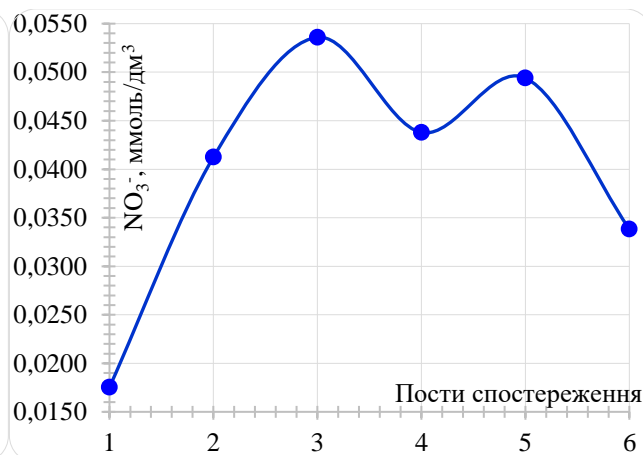


Рис. 4 – Загальний вміст нітратів-іонів по постах заборів води річки Псел за 2019 рік
Fig. 4 – The total content of nitrate ions on the water intakes points on the Psel river for 2019

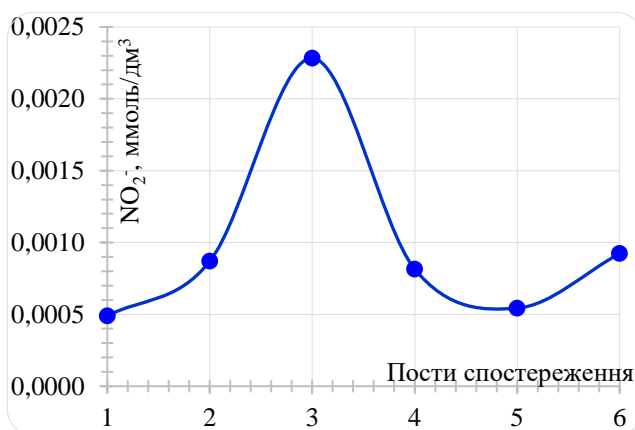


Рис. 5 – Загальний вміст нітритів-іонів по постах заборів води річки Псел за 2019 рік
Fig. 5 – The total content of nitrite ions on the water intakes points on the Psel river for 2019

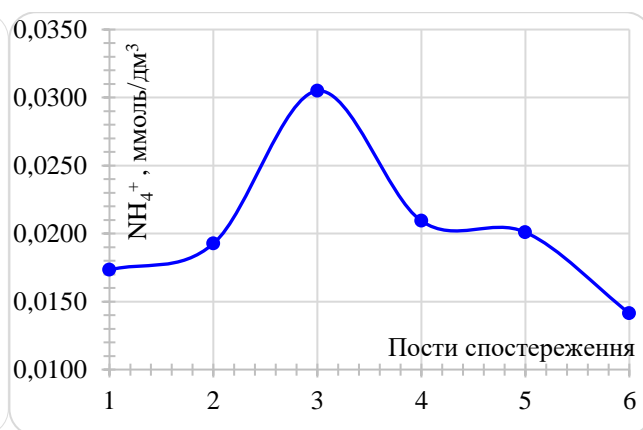


Рис. 6 – Загальний вміст амонію-іонів по постах заборів води річки Псел за 2019 рік
Fig. 6 – The total content of ammonium ions on the water intakes points on the Psel river for 2019

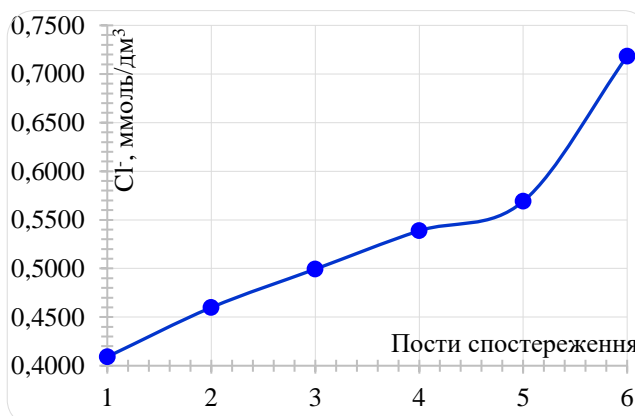


Рис. 7 – Загальний вміст хлорид-іонів по постах заборів води річки Псел 2019 рік
Fig. 7 – The total content of chloride ions on the water intakes points on the Psel river for 2019

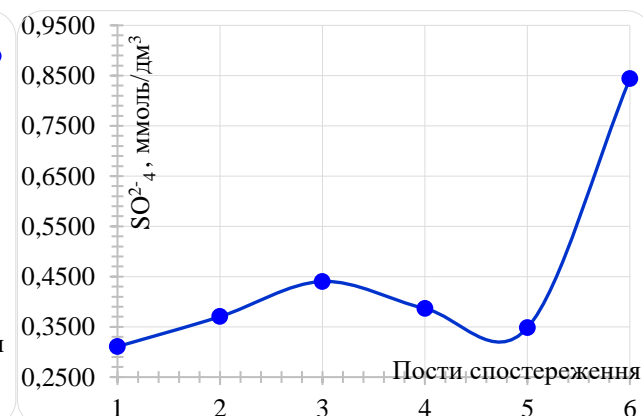


Рис. 8 – Загальний вміст сульфатів-іонів по постах заборів води річки Псел за 2019 рік
Fig. 8 – The total content of sulfate ions on the water intakes points on the Psel river for 2019

спостереження (с. Бишкін, с. Камінне, смт В. Багачка) зумовлене забрудненням поверхневих водних об'єктів побутовими стічними водами.

Визначено також збільшення вмісту сульфатів (рис. 8). Для виготовлення добрив або хімічних речовин в технологічному процесі на підприємстві використовують сірчану кислоту. Тому можна припустити, що саме скиди підприємством недоочищених вод є причиною збільшення вмісту сульфатів у річці.

Вважаємо, що додатковим джерелом надходження полутантів у води річки Псел, є промислові стічні води підприємств, зокрема ПАТ «Сумхімпром». Господарсько-побутові стічні води вказаного підприємства проходять очищення та доочищення на спорудах

біологічної очистки. Очищення промислових, дощових та снігових вод здійснюється в буферному ставку. Промислові, дощові та снігові води через буферний ставок відводяться у водовідвідну каналу, в якій вони змішуються з очищеними господарсько-побутовими водами і далі по водовідвідній каналі скидаються у р. Псел. Результати проведених досліджень дозволяють стверджувати про значне погіршення екологічного стану річки Псел, одного з важливіших притоків річки Дніпро, що вже сьогодні техногенне навантаження внаслідок антропогенного впливу, приводить до погіршення якості води і режиму його річкового стоку.

Висновки

Проведено аналіз зміни екологічного стану річки Псел на основі даних «Моніторингу та екологічної оцінки водних ресурсів України» за 2015 – 2020 роки. Результати досліджень вказують на те, що річка Псел знаходячись під постійним техногенним впливом, має тенденцію до стійкого погіршення її екологічного стану.

Враховуючи результати проведеного аналізу, в подальшому зміна екологічного стану

річки Псел в напрямку його покращення не може відбуватися без розробки та запровадження в дію надійної та ефективної моделі прогнозування зміни його екологічного стану, з урахуванням басейнового принципу управління водними ресурсами. При цьому вона повинна бути легкою в адаптації для проведення розрахунків з використання комп'ютерної техніки.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Список використаної літератури

1. Пономаренко Р.В. Науково-теоретичні основи зниження техногенного навантаження на системи водопостачання регіону з урахуванням основних принципів басейнового управління водними ресурсами: монографія. Харків: Планета-Прінт, 2020. 112 с. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/10628>
2. Ponomarenko R., Plyatsuk L., Hurets L., Polkovnychenko D., Grigorenko N., Sherstiuk M., Miakaiev O. Determining the effect of anthropogenic loading on the environmental state of a surface source of water supply. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol 10 №3. P. 54–62. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206125>
3. Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод: Постанова Кабінету Міністрів України від 19 вересня 2018 р. № 758. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/758-2018-%D0%BF#Text>
4. Jiping Jianga, Sijie Tangab, Dawei Hanc, Guangtao Fud, Dimitri Solomatinee, Yi Zheng. A comprehensive review on the design and optimization of surface water quality monitoring networks. *Environmental Modelling & Software*. 2020. Vol. 132, 104792. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104792>
5. Kay T. Ho, Igor M. Konovets, Anna V. Terletskaia, Mykhailo V. Milyukin etc. Contaminants, mutagenicity and toxicity in the surface waters of Kyiv, Ukraine. *Marine Pollution Bulletin*. 2020. Vol. 155, 111153. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111153>
6. Третьяков О.В., Безсонний В.Л., Пономаренко Р.В., Бородич П.Ю. Підвищення ефективності прогнозування впливу техногенного забруднення на поверхневі водойми. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків: НУЦЗУ. 2019. №29. С. 61–78. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2602648>
7. Пономаренко Р.В., Пляцук Л.Д., Ковальов П.А., Затько Й. Дослідження зміни якісного стану поверхневого водного об'єкта в умовах техногенного навантаження. *Техногенно-екологічна безпека*. Харків: НУЦЗУ. 2020. № 8(2/2020). С. 48-54. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4300769>

8. Пономаренко Р.В., Пляцук Л.Д., Третяков О.В., Ковальов А.П. Визначення екологічного стану головного джерела водопостачання України. Техногенно-екологічна безпека. Харків: НУЦЗУ. 2020. № 6(2/2019). С. 69-77. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3559035>
9. Державне агентство водних ресурсів України. Держводагенство офіційний сайт: веб-сайт. URL: <https://www.davr.gov.ua/>
10. Ponomarenko R., Kovalenko S. Study of Changes in the Ecological Condition of the Psel River. Climate change and sustainable development: new challenges of the century: monograph. 2021. Mykolaiv, Rzeszow. P. 349–358. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/13553>
11. Чиста вода. Інтерактивна карта забрудненості річок в Україні [Електронний ресурс]. URL: <https://texty.org.ua/water>
12. Olga Vigiak, Angel Udias, Alberto Pistocchi, Michela Zanni etc. Probability maps of anthropogenic impacts affecting ecological status in European rivers. *Ecological Indicators*. 2021. Vol. 126, 107684. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107684>
13. Коткова Т. М., Федючка М. І., Карась І. Ф. Екологічна оцінка питної води Лугинського району Житомирської області на вміст хлоридів, сульфатів та нітратів. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018, т. 28, № 7. С. 83-87. <https://doi.org/10.15421/40280718>
14. Правила приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення: Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 01 грудня 2017 р. № 316. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0056-18#Text>

Стаття надійшла до редакції 02.10.2021

Стаття рекомендована до друку 22.10.2021

S. A. KOVALENKO, Postgraduate Student,
National University of Civil Defence of Ukraine
94, Chernyshevskaya Str., Kharkiv, 61023, Ukraine
R. V. PONOMARENKO, DSc (Technical), Senior Researcher,
National University of Civil Defence of Ukraine
94, Chernyshevskaya Str., Kharkiv, 61023, Ukraine
O. V. KRAYNYUK, Ph.D. (Technical),
Associate Professor at the Department of Metrology and Life Safety
Kharkov National Automobile and Highway University
25, Yaroslava Mudrogo St., Kharkiv, 61002, Ukraine
O. V. SEVERYNOV, Ph.D. (Economy),
Associate Professor, Department of Technology and Life Safety
Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics
9-A, Nauki Ave. Kharkiv, 61166, Ukraine

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF SURFACE WATER BODY QUALITY (ON THE EXAMPLE OF THE PSEL RIVER)

Purpose. The purpose of the study is to analyze the qualitative malt of the surface water body to determine changes in its ecological status.

Methods. The analysis of changes in ecological status according to the interactive map «Monitoring and ecological assessment of water resources of Ukraine» of the river Psel for 2015 – 2020 on the following indicators: nitrates, nitrites, phosphates, ammonium ions, sulfates, chlorides.

Results. It was found that in the Psel River in 2019 there was a decrease in the total phosphate content from checkpoint 1 to checkpoint 6. At the same time, there is a significant increase in the village of Bishkin. The reason may be the placement of a fence post in a settlement where there are no treatment facilities. There is an increase in nitrate content, while in the village of Kaminne and urban-type settlement Velyka Bagachka there is a decrease in nitrate concentrations, which may be associated with their consumption of phytoplankton, which should lead to increased turbidity and biological oxygen demand. The increased concentration of nitrites indicates the intensity of decomposition of organic matter, and the delay of oxidation of NO_2^- to NO_3^- , which clearly indicates the pollution of the reservoir. Nitrates and nitrites enter the water from the effluents of industrial and agricultural enterprises. The decrease in the concentration of ammonium ions (the village of Chervone) is most likely due to their oxidation, dissolved in water by oxygen, with the formation of nitrate ions. There is an increase in chloride content. The increase in chloride content in the village of Byshkin and the village of Kaminne is due to the pollution of surface water bodies with domestic wastewater. There is an increase in the content of sulfates.

For the manufacture of fertilizers or chemicals in the technological process at the enterprise using sulfuric acid. Therefore, it can be assumed that the discharges of untreated water by the enterprise are the reason for the increase in the content of sulfates in the river.

Conclusions. An analysis of changes in the ecological status of the Psel River on the basis of data «Monitoring and environmental assessment of water resources of Ukraine» for 2015 – 2020. It is revealed that the river Psel is under constant technogenic influence, has a tendency to steady deterioration of its ecological condition.

KEYWORDS: surface water body, water sampling points, monitoring, ecological status, river Psel

References

1. Ponomarenko, R. V. (2020). Scientific and theoretical bases of reduction of technogenic loading on systems of water supply of region taking into account the basic principles of basin management of water resources: monograph, Kharkiv, Publ. Planet-Print. Retrieved from <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/10628> (in Ukrainian)
2. Ponomarenko R., Plyatsuk L., Hurets L., Polkovnychenko D. etc (2020). Determining the effect of anthropogenic loading on the environmental state of a surface source of water supply. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3/10 (105), 54–62. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206125> (in English)
3. On approval of the Procedure for state water monitoring: Post of the Cabinet of Ministers of Ukraine of September 19, 2018 No 758. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/758-2018-%D0%BF#Text> . (in Ukrainian)
4. Janga, Jiping, Tangab, Sijie, Hanc, Dawei, Fud, Guangtao, Solomatinee, Dimitri, Zheng, Yi .(2020) A comprehensive review on the design and optimization of surface water quality monitoring networks. *Environmental Modelling & Software*, 132, 104792. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104792>
5. Kay, T. Ho, Konovets, Igor M., Terletskaaya, Anna V., Milyukin, Mykhailo V. etc (2020). Contaminants, mutagenicity and toxicity in the surface waters of Kyiv, Ukraine. *Marine Pollution Bulletin*, Volume 155, June 2020, 111153. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111153>
6. Tretyakov, O., Bezsonnyi, V., Ponomarenko, R., Borodich, P. (2019). Improving the efficiency of forecasting the impact of man-made pollution on surface water bodies. *Problems of emergencies*, 1(29), 61–78. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2602648>. (in Ukrainian)
7. Ponomarenko R., Plyatsuk L., Kovalev P., Zat'ko J. (2020)..Study of changes in the quality of the surface water body under man-made conditions. *Technogenic and ecological safety*, 8(2), 48–54. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4300769> (in Ukrainian)
8. Ponomarenko, R., Plyatsuk, L., Tretyakov, O., Kovalev, P. (2019). Determination of the ecological state of the main source of water supply of Ukraine. *Technogenic and ecological safety*, 6(2/2019), 69–77. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3559035> (in Ukrainian)
9. State Agency of Water Resources of Ukraine. State Water Agency official website. URL: <https://www.davr.gov.ua/> (in Ukrainian)
10. Ponomarenko, R., Kovalenko, S. (2021). Study of Changes in the Ecological Condition of the Psel River. In: *Climate change and sustainable development: new challenges of the century: monograph*, Mykolaiv, Rzeszow, 349–358.
11. Clean water. Interactive map of river pollution in Ukraine. Retrieved from <https://texty.org.ua/water> (in Ukrainian)
12. Vigiak, O., Udias, A., Pistocchi, A., Zanni, M. etc. (2021). Probability maps of anthropogenic impacts affecting ecological status in European rivers. *Ecological Indicators*, 126, 107684. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107684>
13. Kotkova, T. N., Fedjuchka, N. I., & Karas, I. F. (2018). Environmental assessment of drinking water in Luhny district of Zhytomyr region on chlorides, sulphates and nitrates content. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28(7), 83–87. <https://doi.org/10.15421/40280718> (in Ukrainian).
14. Rules for accepting wastewater into centralized drainage systems. Approved By order of the Ministry of Regional Development development, construction and housing and communal services of Ukraine from 01.12.2017, (316). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0056-18#Text> (in Ukrainian).

The article was received by the editors 02.10.2021

The article is recommended for printing 22.10.2021

С. А. КОВАЛЕНКО, аспірант

e-mail: kovalenkos@nuczu.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2323-0856>

Національний університет громадянської захисти
ул. Чернишевського, 94, Харків, Україна, 61000

Р. В. ПОНОМАРЕНКО, д-р техн. наук, старший науковий співробітник

e-mail: prv@nuczu.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8445-8251>

Національний університет громадянської захисти
ул. Чернишевського, 94, Харків, Україна, 61000

Е. В. КРАЙНЮК, канд. техн. наук, доц.,

доцент кафедри метрології та безпеки життєдіяльності

e-mail: alenauvarova@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9524-040X>

Харківський національний автомобільно-дорожній університет
ул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, Україна, 61000

О. В. СЕВЕРИНОВ, канд. екон. наук, доц.,

доцент кафедри технологій та безпеки життєдіяльності

e-mail: oleksandr.severynov@m.hneu.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5366-4044>

Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця
проспект Науки, 9-А, м. Харків, Україна, 61000

ЕКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНОГО ВОДНОГО ОБЪЕКТА (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ПСЕЛ)

Цель. Анализ качественного состава поверхностного водного объекта, для определения изменения его экологического состояния.

Методы. Проведен анализ изменений экологического состояния по данным интерактивной карты «Мониторинг и экологическая оценка водных ресурсов Украины» реки Псел за 2015 – 2020 годы по таким показателям: нитраты, нитриты, фосфаты, ионы аммония, сульфаты, хлориды.

Результаты. Выявлено, что в реке Псел, отмечается уменьшение общего содержания фосфатов от поста наблюдения 1 до поста наблюдения 6, при этом отмечается существенное его увеличение в с. Бишкинь. Причиной может быть размещение поста наблюдения в населенном пункте, в котором отсутствуют очистные сооружения. Наблюдается увеличение содержания нитратов, при этом в с. Каменное и пгт. В.Белозерка отмечается понижение концентраций нитратов, которое возможно связано с потреблением их фитопланктоном, что должно приводить к увеличению мутности и БПК воды. Повышенная концентрация нитритов свидетельствует об интенсивности разложения органических веществ, и задержку окисления NO_2^- к NO_3^- , что свидетельствует о загрязнении поверхностного водного объекта. Нитраты и нитриты попадают в воду из стоками промышленных и сельскохозяйственных предприятий. Снижение концентрации ионов аммония (с. Красное) скорее всего связано с окислением их, растворенным в воде кислородом с образованием нитрат-ионов. Наблюдается увеличение содержания хлоридов. Повышение содержание хлоридов в с. Бишкинь и с. Каменное обусловлено загрязнением поверхностных водных объектов бытовыми сточными водами. Наблюдается увеличение содержания сульфатов. Для изготовления удобрений или химических веществ в технологическом процессе на предприятии используют серную кислоту. Поэтому можно предположить, что именно сбросы предприятием не доочищенных вод является причиной увеличения содержания сульфатов в реке.

Выводы. Проведенный анализ изменения экологического состояния реки Псел на основе данных «Мониторинга и экологической оценки водных ресурсов Украины» за 2015 – 2020 годы позволяет утверждать, что река Псел находится под постоянным техногенным воздействием, имеет тенденцию к устойчивому ухудшению ее экологического состояния.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: поверхностные водные объекты, посты забора, мониторинг, экологическое состояние, река Псел

Статья поступила в редакцию 02.10.2021

Статья рекомендована в печать 22.10.2021

ЕКОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОСИСТЕМ

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-04>

УДК (UDC): 630, 551.5:504.54

Л. Ф. ЧОРНОГОР¹, д-р фіз.-мат. наук, проф.,

Завідувач кафедри космічної радіофізики

e-mail: Leonid.F.Chernogor@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5777-2392>

А. Н. НЕКОС¹, д-р геогр. наук, проф.,

завідувачка кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти

alnekos999@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1852-0234>

А. В. ТІТЕНКО¹, канд. геогр. наук, доц.,

директор навчально-наукового інституту екології

titenko@karazin.ua ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8477-0672>

Л. Л. ЧОРНОГОР¹,

студент навчально-наукового інституту екології

L.L.Chornohor@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5313-8850>

¹Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

майдан Свободи 6, 61022, м. Харків, Україна

ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ГОРІННЯ ЛІСОВИХ МАСИВІВ У ПІВНІЧНІЙ ПІВКУЛІ В 2020 р.: РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ТА КІЛЬКІСНИХ РОЗРАХУНКІВ

Мета. Кількісна оцінка маси викидів продуктів горіння, хімічних елементів, енергії та потужності акустичного та теплового випромінювань, викликаних горінням великих лісових масивів у Північній півкулі.

Методи. Аналітичний огляд проблеми досліджень, теоретико-розрахункові, математичне моделювання, системний аналіз.

Результати. Встановлено, що великомасштабні пожежі в Північній півкулі у 2020 р. мали катастрофічні екологічні наслідки. Найбільш суттєвий вплив виявився внаслідок горіння лісів у Росії та США. Постраждали екосистеми площею близько 15 млн га. Безповоротно втрачено близько 3,5 Гт деревини. В атмосферу викинуто близько 140 Мт диму, понад 10 Мт сажі. Маса інжектваного газу СО склала близько 350 Мт. Маса викинутих до атмосфери вуглеводнів склала близько 140 Мт. В атмосферу додатково емітовано близько 7,8 Гт газу СО₂. До атмосфери викинуто сотні мегатон атомарного азоту, сотні тон калію та кальцію, а також від одиниць до десятків тон таких хімічних елементів, як Fe, Zn, Cr, Br, Mn, Pb, Rb, Sr і Se. Енергія акустичного випромінювання склала близько 100 ПДж, що майже в тисячу разів перевищило її енергію в нормальних умовах. Енергія слабкозатухаючого інфразвукового випромінювання склала 1–10 ПДж. Густина потоку теплового випромінювання досягала 56–160 кВт/м². Навіть після розподілу продуктів горіння лісів у приземному шарі атмосфери над усією землею кулею їх концентрація перевищувала концентрацію в нормальних умовах. У першу чергу це відноситься до диму, сажі та чадного газу. Економічний збиток від горіння лісів склав близько 750 млрд доларів США. Загибло та було травмовано десятки людей. Матеріальний і моральний збиток завдано багатьом тисячам людей.

Висновки. Екологічні наслідки горіння великих масивів лісів північної півкулі у 2020 р. для планети стали своєрідним рекордом.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: площа пожежі, горючий матеріал, енергетика пожежі, викиди продуктів горіння, екологічні наслідки

Як цитувати: Черногор Л. Ф., Некос А. Н., Тітенко Г. В., Черногор Л. Л. Екологічні наслідки горіння лісових масивів у Північній півкулі в 2020 р.: результати моделювання та кількісних розрахунків. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2021. Вип. 25. С.42-54. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-04>

In cites: Chernogor, L. F., Nekos, A. N., Titenko, G. V., & Chornohor, L. L. (2021). Ecological consequences from forest burning in the northern hemisphere in 2020: results of modeling and quantitative calculations. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Ecology»*, (25), 42-54. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-04>

© Черногор Л. Ф., Некос А. Н., Тітенко Г. В., Черногор Л. Л., 2021



This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Вступ

Великомасштабні лісові пожежі на земній кулі – один із викликів, що стоїть перед нашою цивілізацією. Справа в тому, що під час лісових пожеж суттєво страждають усі складові екогеосистем, а саме атмосфера, ґрунтовий покрив, гідросфера, флора і фауна та біосфера в цілому. Проблема великомасштабних лісових пожеж має значні екологічні, економічні та соціальні наслідки.

Вплив пожеж на лісові масиви досліджується більше 50 років. Огляд основних робіт представлено в роботі авторів [1–3].

Причини виникнення лісових пожеж і їх наслідки як теоретично, так і експериментально досліджуються досить давно. Зазвичай основна увага приділяється прогнозуванню та запобіганню лісових пожеж. На цей час розроблено математичні моделі, вивчено механізми виникнення найбільш небезпечних лісових верхових пожеж [4–6]. У літературі відсутні теоретичні розрахунки та математичне моделювання екологічних наслідків горіння конкретних лісових масивів.

Так, дослідники лісових пожеж у своїх роботах описали екологічні наслідки великомасштабних лісових пожеж в Україні навесні – влітку – восени 2020 р. [1–3]. Показано, що екологічні наслідки були рекордними. У 2020 р. також виникали великомасштабні лісові пожежі у США, Іспанії, Греції, Росії та в інших країнах Північної півкулі. У такому аспекті представляє інтерес проблема дослідження екологічних наслідків великомасштабних лісових пожеж саме у Північній півкулі у 2020 р.

Актуальність подібного дослідження полягає у наступному. Сучасне людство живе в епоху глобального потепління, яке викликано подальшим зростанням чисельності населення на планеті, все зростаючим техногенним впливом. При цьому збільшуються викиди в атмосферу додаткового тепла, шкідливих речовин, газів і, зокрема, вуглекислоти. Збільшення маси цього газу веде до активізації парникового ефекту. В

результаті цього ефекту підвищується температура приземної атмосфери, збільшується ймовірність виникнення великомасштабних лісових пожеж, погіршення стану екогеосистем. Таким чином з'являється позитивний зворотний зв'язок в екогеосистемах, який веде до пришвидшення негативних екологічних наслідків великомасштабних лісових пожеж на планеті.

Навесні – влітку – восени 2020 р. у Північній півкулі спостерігалися рекордні за своєю інтенсивністю лісові пожежі. В результаті пожеж виникли серйозні екологічні наслідки. При цьому були знищені значні природні ресурси. Добре відомо, що ліси поглинають вуглекислий газ, збагачують атмосферу киснем. Горіння призвело до викидів вуглекислого газу, що сприяло прискоренню глобального потепління. При пожежах на великих територіях руйнуються екосистеми, зменшується біологічне різноманіття, завдається значної шкоди середовищу існування тварин і рослинності, гинуть корисні ґрунтові мікроорганізми, збільшується ймовірність ґрунтової повітряної ерозії. Після сильних пожеж нерідко знижується плодючість ґрунту. Пожежі призводять до погіршення якості питної води, ґрунтових вод, струмки і ріки після пожеж менше збагачуються водою. Водойми виявляються забрудненими попелом і сажею, що завдає шкоди водній фауні і флорі. Атмосфера суттєво забруднюється продуктами горіння лісових масивів. В атмосферу інжектуються потужне акустичне (в тому числі й шкідливе інфразвукове) випромінювання. Все це мало місце протягом лісових пожеж у 2020 р. Потрібна кількісна оцінка екологічних наслідків великомасштабних пожеж у 2020 р., що і зумовило актуальність даної роботи.

Метою роботи є кількісна оцінка викидів продуктів горіння, хімічних елементів енергії та потужності акустичного і теплового випромінювання внаслідок горіння лісових масивів Північної півкулі у 2020 р.

Методи досліджень

Для дослідження екологічних наслідків великомасштабних лісових пожеж використовувалися такі методи: аналітичний огляд проблеми досліджень, теоретичні розрахунки, математичне моделювання та

системний аналіз усього комплексу ефектів. Моделюванню підлягали кількісні показники енергії та потужності пожеж (теплова енергія та потужність), процесів викидів маси диму, сажі, чадного газу, вуглекислоти,

азоту, важких хімічних елементів, енергія та потужність інфразвукового випромінювання.

Загальні питання великомасштабних пожеж розглянуті у [7–10].

Окремі аспекти методики аналізу екологічних наслідків великомасштабних пожеж розроблялися низкою фахівців [11, 12]. Найбільш повно методика викладена в роботах [13, 14]. У даній роботі використано методику співавтора Чорногора Л.Ф. [13, 14].

При оцінці екологічних наслідків великомасштабних пожеж вихідними параметрами є площа пожежі S , питома маса горючих матеріалів \tilde{m} , а також коефіцієнти

перетворення маси горючих матеріалів у маси продуктів горіння. В якості останніх обрано масу диму, маси CO_2 , CO , C і вуглеводнів (CH_4 , C_2H_4 , C_2H_2 , C_2H_6 , C_3H_6 , C_3H_8). Окремо оцінено маси інжектіваних в атмосферу хімічних елементів (N , K , Ca , Fe , Zn , Sr , Br , Pb и Se). При цьому за основу взято наступні співвідношення: маса диму $m_s = 0,04m$, $m_{\text{CO}_2} = 2,25m$, $m_{\text{CO}} = 0,1m$, $m_{\text{C}} = 3 \cdot 10^{-3}m$, маса вуглеводнів $m_h = 0,04m$.

Питома маса хімічних елементів, також емітованих при лісових пожежах, наведена в табл. 1 [15].

Таблиця 1

Питома маса хімічних елементів, емітованих при лісових пожежах

Table 1

Mass per surface area of chemical elements discharged during forest fires

Хім. елемент	Питома маса хімічних елементів											
	N	K	Ca	Fe	Zn	Cr	Br	Mn	Pb	Rb	Sr	Se
\tilde{m} , кг/м ²	0,1– 1	(0,2– 1,2)· ·10 ⁻⁵	(0,4– 0,8)· ·10 ⁻⁵	(0,6– 3,7)· ·10 ⁻⁶	(0,7– 8,7)· ·10 ⁻⁷	(1,4– 6,5)· ·10 ⁻⁷	(0,7– 2,3)· ·10 ⁻⁷	(0,1– 2,9)· ·10 ⁻⁷	(0,4– 0,8)· ·10 ⁻⁷	(0,2– 0,5)· ·10 ⁻⁷	(0,1– 0,5)· ·10 ⁻⁷	(0,1– 0,3)· ·10 ⁻⁷

Аналіз даних таблиці 1 показав, що найбільшу питому масу мають викиди атомарного азоту, значно меншу – калій і кальцій і ще меншу інші елементи.

Відомо, що у природних умовах питома маса диму складає $\tilde{m}_s \approx 10^{-5}$ кг/м², $\tilde{m}_{\text{CO}_2} \approx 4,6$ кг/м², $\tilde{m}_{\text{CO}} \approx 10^{-3}$ кг/м², $\tilde{m}_{\text{C}} \approx 10^{-6}$ кг/м², питома маса вуглеводнів – $\tilde{m}_h \approx 10^{-2}$ кг/м².

Питома маса лісових горючих матеріалів змінюється в широких межах. Для трави $\tilde{m} \approx 0,1–1$ кг/м², для чагарника $\tilde{m} \approx 1–5$ кг/м². Найменше значення питомої маси мають ліси в лісостеповій зоні (близько 10 кг/м²), а в

субтропіках і тропіках – $\tilde{m} \approx 60$ кг/м². Значення \tilde{m} , що використано в роботі наведено в табл. 2., з якої видно, що найбільша питома маса була в лісах США та Іспанії, а найменша – в Україні.

Пожежі супроводжуються потужними потоками теплового Π_t і акустичного Π_a випромінювання.

Густина потоку Π_t можна розрахувати за співвідношенням з [13]:

$$\Pi_t \approx \sigma(T^4 - T_0^4),$$

де $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(К⁴·м²) – стала Стефана – Больцмана, T – температура полум'я, T_0 – температура повітря. Далі вважалося, що $T_0 \approx 300$ К.

Таблиця 2

Параметри лісових пожеж

Table 2

Forest fires parameters

Параметр	Країна			
	США	Росія	Іспанія	Україна
Питома маса, кг/м ²	40	20	30	10
Характерний час вигорання, год	2,8	1,4	2,1	0,7

За даними [14], в енергію акустичного випромінювання E_a переходить близько 0,3% енергії E , що виділяється під час пожежі. При цьому потужність акустичного випромінювання $P_a \approx 0,003P$, де P – потуж-

ність, що виділяється при горінні. При цьому $\Pi_a = P_a/S$. У нормальних умовах $\Pi_a \approx 1$ мВт/м². Виходячи з цього, саме ці базові показники використані у роботі для розрахунків.

Результати первинного аналізу стану лісових пожеж

Лісові пожежі в Росії. Масштабні пожежі почалися вже в січні 2020 р. До 15 травня 2020 р. за даними Грінпіс вигоріло близько 13,5 млн га, а за російськими даними – всього 4,7 млн га, з них 1,9 млн га – ліси [16, 17].

На 28 червня 2020 р. Грінпіс повідомив, що в Росії пожежі пройшли 21 млн га, а офіційні органи Росії повідомили, що вогонь охопив територію в 12 млн га, з них 6,6 млн га – ліси. Пожежі в Росії тривали в серпні, вересні та жовтні 2020 р. (рис. 1.) Найбільше постраждали Бурятія, Забайкальський, Красноярський,

Приморський і Хабаровський краї, а також Брянська, Іркутська, Смоленська, Кемеровська і Єврейська автономна області. За добу площа пожеж збільшувалася на 5 тис. га. Найбільше постраждали ліси в Якутії, їх частка перевищувала 80% [17]. Найбільш сильні лісові пожежі відзначалися в травні (їх тривалість була не менше 30 діб) і в липні (тривалість близько 20 діб). Протягом двох місяців згоріло близько 12 млн га лісу. Завдана шкода склала близько 600 млрд доларів США.



Рис. 1 – Масштабна лісова пожежа в Російській Федерації влітку 2020 р.

[<https://opozhare.ru/posledstviya/statistika-lesnyh-pozharov>]

Fig. 1 – A large-scale forest fire in the Russian Federation in summer 2020 [Available from <https://opozhare.ru/posledstviya/statistika-lesnyh-pozharov>]



Рис. 2 – Масштабна лісова пожежа в штаті Каліфорнія (США) влітку 2020 р.

[<https://iz.ru/1050026/video/v-kalifornii-obiavili-rezhim-chs-iz-za-pozharov>]

Fig. 2 – A large-scale forest fire in the state of California (USA) in summer 2020 [Available from <https://iz.ru/1050026/video/v-kalifornii-obiavili-rezhim-chs-iz-za-pozharov>]

Лісові пожежі в США. Пожежі в 2020 р палахкотіли в 12 штатах. Найбільш масштабні з них мали місце в штатах Каліфорнія, Орегон і Вашингтон [18, 19].

Штат Каліфорнія. Пожежі в Каліфорнії почалися 2 серпня 2020 р., але вони були відносно слабкими. У середині серпня 2020 р. температура повітря часом досягала 50°C. Жаркий і сухий клімат сприяв виникненню так званих сухих блискавок. 16 серпня 2020 р. зареєстровано 200 блискавок за 30 хв. Всього за добу відзначено близько 2500 блискавок. Сухі блискавки спровокували 585 займань лісових масивів. Після цього виникли мегапожежі (рис. 2). Вони тривали з 18

серпня по 18 вересня 2020 р. Загальна площа пожеж склала 2,7 млн га.

На початку вересня в результаті пожеж над Каліфорнією з'явилися пірокумуляси, тобто піро-купчасто-дощові хмари, які досить швидко піднімалися вгору, аж до висоти 15 км. Подібні хмари виникають при виверженні потужних вулканів. Пірокумуляси формують власні метеосистеми, впливають на погоду далеко за межами великомасштабної пожежі. Частота виникнення блискавок при наявності таких хмар збільшується, провокуючи все нові осередки пожеж.

Мегапожежі супроводжувалися виникненням вогненних торнадо (вогненних смерчів) (рис. 3). У цих випадках висота



Рис. 3 – Унікальне явище – виникнення вогняного смерчу під час лісової пожежі в штаті Каліфорнія (США) влітку 2020 р.
[<https://newizv.ru/news/incident/17-08-2020/v-ssha-ob-yavili-evakuatsiyu-v-ozhidanii-ognennogo-tornado>]

Fig. 3 – A unique phenomenon of the occurrence of a tornado during a forest fire in California (USA) in summer 2020

[Available from <https://newizv.ru/news/incident/17-08-2020/v-ssha-ob-yavili-evakuatsiyu-v-ozhidanii-ognennogo-tornado>]

полум'я може збільшуватися від 50–60 м до 10 км. При цьому продукти горіння закидаються навіть у стратосферу. У стратосфері закинуті аерозолі (сажа) можуть перебувати місяцями і навіть роками. Саме сажа, поглинаючи сонячне випромінювання, суттєво змінює тепловий режим тропосфери і стратосфери. За вимірами супутникових приладів температура приземної атмосфери становила 191°C.

Через викиди великої кількості диму в денний час спостерігалися сутінки, майже не було видно Сонця, небо набуло темно-помаранчевий колір (настав «червоний день») (рис. 4). Дим пішов на схід, до середини вересня він досяг Європи.

В результаті пожеж загинуло 29 чоловік, знищено м. Парадайс, згоріло понад 4000 будівель, 120 тис. осіб евакуйовано. У Каліфорнії без електроенергії залишилося 172 тис. чоловік. У гасінні пожежі взяли участь 14 тис. фахівців. Економічний збиток склав 130–150 млрд доларів США.

Штат Орегон. Пожежею охопило близько 0,4 млн га. Евакуйовано 0,5 млн чоловік із загального числа жителів штату 4,2 млн чоловік, тобто близько 12%. Пожежа тривала більше 7 діб. Загинуло понад 20 осіб, десятки пропали безвісти. Знищено 5 невеликих міст, сотні будівель [19]. **Штат Вашингтон.** Палахкотіло 14 пожеж площею понад 0,2 млн га. Стихія тривала не менше 10 діб. Мали місце людські жертви, більше 10 осіб зникли безвісти [20].



Рис. 4 – Унікальне явище (червоний день), зумовлене масштабною лісовою пожежею в штаті Каліфорнія (США) влітку 2020 р.
[<https://newdaynews.ru/inworld/702344.html>]
Fig. 4 – A unique phenomenon (red day) caused by a large-scale forest fire in California (USA) in summer 2020
[Available from <https://newdaynews.ru/inworld/702344.html>]

Штат Аляска. Спостерігалось більше 107 великих пожеж на території 0,7 млн га [21].

Для порівняння додамо, що площа лісових пожеж у Канаді в серпні 2020 р. була близько 2 тис. га. Евакуйовано 3,8 тис. чоловік з 4 тис. жителів [22]. Загальна площа лісових масивів, що згоріли в США в 2020 р. склала близько 2,7 млн га.

Така сумна статистика характеризує стан наслідків лісових пожеж у західній півкулі. Далі наведемо стан наслідків пожеж у Європі.

Лісові пожежі в Іспанії. Пожежі в іспанській провінції Андалусія почалися 27 серпня 2020 р. і тривали не менше трьох тижнів (рис. 5). Площа, пройдена вогнем, була близько до 10 тис. га. Було евакуйовано 3100 осіб. Пожежі гасило 500 осіб, залучались до гасіння 16 вертольотів, 8 літаків і армійський персонал [23]. Нанесений збиток склав близько 500 млн доларів США.

Лісові пожежі у Греції. Пожежа у Греції 19–20 липня 2020 р. розпочалася з 47 осередків. Пожежа змінної інтенсивності тривала до 5 вересня 2020 р. (рис. 6). Загинуло 87 осіб. Пожежу гасили 391 пожежний, 154 одиниці техніки, 12 літаків, 4 вертольоти і добровольці [24]. Лісові пожежі у Греції біля Афін відзначалися у серпні – вересні 2020 р. Щодооби реєструвалося від 40 до 60 осередків лісових пожеж. Площа, пройдена вогнем, склала близько 1 тис. га. Пожежу



Рис. 5 – Масштабна лісова пожежа в Іспанії влітку 2020 р.

[<https://earthcentre.earth/climatechange.php>]

Fig. 5 – A large-scale forest fire in Spain in summer 2020

[Available from

<https://earthcentre.earth/climatechange.php>]



Рис. 6 – Масштабна лісова пожежа в Греції влітку 2020 р.

[<https://www.euointegration.com.ua/rus/news/2021/05/20/7123382/>]

Fig. 6 – A large-scale forest fire in Greece in summer 2020

[Available from

<https://www.euointegration.com.ua/rus/news/2021/05/20/7123382/>]

гасили 180 пожежників, 56 одиниць техніки, в тому числі 6 літаків і 8 вертольотів [24]. Суттєво менша пожежа (80 га) мала місце на території республіки Афон 13 червня 2020 р. Збиток, нанесений пожежами, склав близько 50 млн доларів США.

Лісові пожежі у Франції. Пожежа спалахнула 5 серпня 2020 р. на півдні Франції (рис. 7). Згоріло понад 1500 га лісу. Евакуйовано 4 тис. чоловік. В гасінні пожежі взяли участь 2 тис. рятувальників. Постраждали 15 пожежних [25]. Нанесений збиток склав близько 75 млн доларів США.

Лісові пожежі в Україні. Пожежі в Київській і Житомирській областях мали місце в

квітні – травні 2020 р. Приблизно за місяць пожежа пройшла територію в 2,3 тис. га.

Вогняна стихія в Харківській області спостерігалась з 2 по 7 вересня 2020 р. Вогонь пошкодив близько 500 га лісу. Перші пожежі в Луганській області розпочалися також 2 вересня 2020 р.

Найсильніші пожежі реєструвалися в Луганській області з 20 вересня по 4 жовтня 2020 р. (рис. 8). Від пожеж суттєво постраждало 32 населених пункти, згоріло 300 будинків, загинуло 11 осіб, з опіками за медичною допомогою звернулося 19 осіб. Відселили 150 людей. У гасінні пожежі брали участь 1154



Рис. 7 – Масштабна лісова пожежа на півдні Франції влітку 2020 р.

[<https://www.bbc.com/russian/news-40725728>]

Fig. 7 – A large-scale forest fire in the south of France in summer 2020

[<https://www.bbc.com/russian/news-40725728>]



Рис. 8 – Масштабна лісова пожежа в Луганській області (Україна) влітку 2020 р.

[<https://donpress.com/news/07-07-2020-vtorye-sutki-polyhaet-masshtabnyy-lesnoy-pozhar-v-luganskoj-oblasti>]

Fig. 8 – A large-scale forest fire in Luhansk region (Ukraine) in summer 2020

[<https://donpress.com/news/07-07-2020-vtorye-sutki-polyhaet-masshtabnyy-lesnoy-pozhar-v-luganskoj-oblasti>]

людини, 294 одиниці техніки, 3 пожежних літаки, вертоліт і пожежний потяг [26].

Нанесена пожежами в Україні шкода склала близько 1 млрд доларів США.

Результати аналізу екологічних наслідків лісових пожеж

Результати оцінки основних параметрів, що характеризують екологічні наслідки великомасштабних лісових пожеж, наведені в табл. 3. З табл. 3 видно, що маса згорілих лісових матеріалів була близько 3,5 Гт, маса викинутого в атмосферу диму була не менше 140 Мт, що майже в 100 тис. разів перевищило вміст диму над цими територіями в нормальних умовах. Маса емітованого CO₂ була близько 7,8 Гт, що більше, ніж на порядок перевищило його вміст у нормальних умовах.

Табл. 3 свідчить про те, що найбільш значимі екологічні наслідки горіння лісових масивів у 2020 р. мали місце в Російській Федерації. В США вони були приблизно в чотири рази меншими. Екологічні наслідки горіння лісних масивів у Іспанії й Україні були значно меншими.

За розрахунками маса інжектваного газу вуглекислого газу склала близько 350 Мт, що в тисячі разів перевищило його масу в нормальних умовах. Маса викинутої сажі перевищила 10 Мт, а це майже в 100 тис. разів більше маси С у нормальних умовах. Маса

Великомасштабні лісові пожежі в Україні навесні–влітку–восени 2020 р. більш детально описані авторами в роботі [6].

інжектванних вуглеводнів була близько 140 Мт, що на два порядки перевищило їх масу в нормальних умовах.

Маса інжектванних в атмосферу цілої низки хімічних елементів, утворених великомасштабними лісовими пожежами, наведена в табл. 4. Із цієї таблиці можна бачити, що найбільша емісія була для азоту, кальцію та калію. Важливо, що найбільші викиди мали місце під час великомасштабних лісових пожеж у Російській Федерації, дещо менше – у США. Викиди в Іспанії й Україні були в сотні-тисячі разів менші.

Енергія акустичного випромінювання склала близько 100 ПДж, що майже в 1000 разів перевищило його енергію в нормальних умовах. При цьому густина потоку акустичного випромінювання 0.1–4 Вт/м² при нормі 10⁻³ Вт/м². Як відомо, енергія акустичного випромінювання містить у собі 1–10% енергії інфразвукового випромінювання і склала близько 100 ПДж, що майже у тисячу разів перевищило її енергію в нормальних умовах [14].

Таблиця 3

Параметри екологічних наслідків горіння лісових масивів у Північній півкулі в 2020 р.

Table 3

Parameters of ecological consequences from forest fires in the Northern Hemisphere during 2020

Параметр	Росія	США	Іспанія	Україна	Фонові значення над даною територією	Відносне збільшення
Площа пожеж, га	12 млн	2.7 млн	10 тис.	23 тис.	–	–
Маса згорілих матеріалів, Мт	2400	1080	3	2.3	–	–
Маса диму, Мт	96	43.2	0.12	9.2·10 ⁻²	1.5·10 ⁻³	9.3·10 ⁴
Маса CO ₂ , Мт	5400	2430	6.75	5.2	676	11.6
Маса CO, Мт	240	108	0.3	2·10 ⁻³	0.15	2.3·10 ³
Маса С, кт	7200	3240	9	6.9	0.15	7·10 ⁴
Маса вуглеводнів, Мт	96	43.2	0.12	0.1	1.47	95
Енерговиділення, ПДж	2.4·10 ⁴	1.1·10 ⁴	30	23	–	–
Середня тривалість, діб	60	30	30	10	–	–
Середня потужність, ТВт	4	3.6	0.01	2.3·10 ⁻²	–	–
Енергія акустичного випромінювання, ПДж	72	33	9·10 ⁻²	6.9·10 ⁻²	0.117	900
Потужність акустичного випромінювання, ПВт	12	11.1	0.03	6.9·10 ⁻²	3.9·10 ⁻²	590

Таблиця 4

Маса інжектованих хімічних речовин при лісових пожежах

Table 4

Mass of chemicals injected during forest fires

Хімічний елемент	Країна				Сумарна інжекція
	Росія	США	Іспанія	Україна	
N, Мг	24–240	11–108	0,03–0,3	0,02–0,2	35–348
K, т	24–144	54–324	0,2–1,2	$(4,6–27,6) \cdot 10^{-2}$	80–470
Ca, т	48–96	108–216	0,4–0,8	$(9,2–18,4) \cdot 10^{-2}$	160–320
Fe, т	7,2–44,4	16,2–100	0,06–0,37	$(1,4–8,5) \cdot 10^{-2}$	24–144
Zn, т	0,8–10,4	1,9–22,4	$(0,7–8,7) \cdot 10^{-2}$	$(1,6–20) \cdot 10^{-3}$	2,7–33,9
Cr, т	1,6–7,4	3,8–17,6	$(1,4–6,5) \cdot 10^{-2}$	$(3,2–14,9) \cdot 10^{-3}$	5,4–25
Br, т	0,8–2,8	1,9–6,2	$(0,7–2,3) \cdot 10^{-2}$	$(1,6–5,3) \cdot 10^{-3}$	2,7–8,9
Mn, т	0,1–2,9	0,27–7,83	$(1,0–29,0) \cdot 10^{-3}$	$(2,3–66,7) \cdot 10^{-4}$	0,4–10,7
Pb, т	0,4–0,8	1,08–2,16	$(0,4–0,8) \cdot 10^{-2}$	$(9,2–18,4) \cdot 10^{-3}$	1,6–3
Rb, т	0,2–0,6	0,54–1,35	$(0,2–0,5) \cdot 10^{-2}$	$(4,6–11,5) \cdot 10^{-4}$	0,8–1,95
Sr, т	0,1–0,6	0,27–1,35	$(0,1–0,5) \cdot 10^{-2}$	$(2,3–11,5) \cdot 10^{-4}$	0,4–2
Se, т	0,1–0,4	0,27–0,81	$(1,0–3,0) \cdot 10^{-3}$	$(2,3–6,9) \cdot 10^{-4}$	0,4–1,2

Таблиця 5

Густина потоку тепла від пожежі

Table 5

Thermal flux density from fire

$\Delta T, K$	Надлишок температури при пожежі									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
$\Pi_t, кВт/м^2$	1	3,1	6,9	13	23	37	56	83	120	160

Густина потоку теплового випромінювання Π_t для різних значень надлишку температури $\Delta T = T - T_0$ наведена в табл. 5. В залежності від надлишку температури над пожежею значення густини потоку теплового змінюються на чотири порядки. За густини

потоку теплового випромінювання, більшого за $(0,1–1) \cdot 10^5$ Вт/м², виникає займання лісових масивів, що призводить до значного розширення площі лісових пожеж. В значній мірі цьому сприяє сильний вітер.

Висновки

Теоретичні розрахунки та математичне моделювання показали, що катастрофічні пожежі у Північній півкулі у 2020 р. викликали рекордні екологічні наслідки. Найбільше вигоріло лісів у Росії та США. Постраждали екогеосистеми на площі близько 15 млн га, що приблизно у 3300 разів менше площі поверхні Землі. У стільки ж разів через процеси переносу зменшилося відносне перевищення мас емітованих продуктів горіння та потужності випромінювання. Безповоротно втрачено понад 3,5 Гт деревини. Економічний збиток склав біля 750 млрд доларів США. Загинули та були травмовані десятки людей. Матеріальний і моральний збиток завдано багатьом тисячам людей.

Встановлено, що маса диму і сажі у 100 тис. разів перевищила їх масу у нормальних умовах. Дуже значними були викиди CO, CO₂, вуглеводнів, а також енергій теплового і акустичного випромінювання. Та їх маса диму та сажі в усій земній атмосфері збільшилася приблизно у 30 разів, а маса CO – приблизно подвоїлася у порівнянні з нормальним станом. Звісно, завислі частинки диму та сажі, що знаходяться в тропосфері, поступово вимиваються опадами. Частинки, що потрапили до стратосфери, існують там місяцями і навіть роками. В атмосферу викинуто близько 140 Мт диму, що майже в 100 тис. разів перевищує його вміст у атмосфері над згорілими лісами в нормальних умовах. В атмосферу емітовано понад 10 Мт сажі,

що в 70 тис. разів перевищує її вміст у нормальних умовах. Маса інжектваного газу CO складала близько 350 Мт, що в 2,3 тис. разів перевищує його вміст у нормальних умовах. Маса викинутих в атмосферу вуглеводнів складала близько 140 Мт, що приблизно в 100 разів перевищило їх масу в нормальних умовах. В атмосферу додатково емітовано близько 7,8 Гт газу CO₂, що на порядок перевищило його вміст у нормальних умовах.

У атмосферу викинуто сотні мегатонн атомарного азоту, сотні тон калію та кальцію, а також від одиниць до десятків тон таких хімічних елементів, як Fe, Zn, Cr, Br, Mn, Pb, Rb, Sr і Se.

Від теплового випромінювання страждали та гинули люди. Густина потоку теплового випромінювання досягала 56–160 кВт/м², що могло викликати посилення пожеж.

Енергія акустичного випромінювання містить у собі 1–10% енергії інфрачервоного випромінювання і складала близько 100 ПДж,

що майже у тисячу разів перевищило її енергію в нормальних умовах. Звукові хвилі затухають на порівняно невеликих відстанях, на відміну від них інфрачервові хвилі поширюються в глобальних масштабах і негативно впливають на біосферу та людей, зокрема. Енергія слабкочастотного інфрачервоного випромінювання складала 1–10 ПДж і це суттєво може впливати на екогеосистеми. Також воно не сприймається вухами людини, але впливає на всі його органи та загальний психо-емоційний стан, викликаючи страх, паніку і навіть психічні розлади.

Важливо, що навіть після розподілення продуктів горіння лісів над усією землею кулею їх концентрація перевищувала концентрацію у нормальних умовах. І у першу чергу це відноситься до диму, сажі та чадного газу.

Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що екологічні наслідки горіння великих масивів лісів у 2020 р. для планети стали рекордними.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Список використаної літератури

1. Титенко А. В., Черногор Л. Л. Экологические последствия крупномасштабных лесных пожаров в Украине весной–осенью 2020 г. Л. Охорона довкілля: зб. наук. статей XVI Всеукраїнських наукових Талійських читань. Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2020. С.164–166.
2. Черногор Л. Л. Екологічні наслідки великомасштабних лісових пожеж в Україні у 2020 р. Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: матеріали VIII Міжнародної наукової конференції молодих вчених. Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2020. С. 33–35.
3. Черногор Л. Ф., Некос А. Н., Тітенко Г. В., Черногор Л. Л. Екологічні наслідки великомасштабних лісових пожеж в Україні навесні – влітку – восени 2020 р. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна серія «Екологія»*. 2021. № 24. С. 79–90. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-24-07>
4. Boer M. M., Resco de Dios V., Bradstock R.A. Unprecedented burn area of Australian mega forest fires. *Nature Climate Change*. 2020. Vol. 10. P. 171–172. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0716-1>
5. Khabarov N., Krasovskii A., Obersteiner M., Swart R., Dosio A., San-Miguel-Ayanz J., Durrant T., Camia A., Migliavacca M. Forest fires and adaptation options in Europe. *Regional Environmental Change*. 2016. Vol. 16. P. 21–30. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0621-0>
6. Silva S., Fearnside P., Graça P., Brown I., Alencar A., Melo A. Dynamics of forest fires in the southwestern Amazon. *Forest Ecology and Management*. 2018. Vol. 424. P. 312–322. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.04.041>
7. Будько М., Голицын С., Израэль Ю. Глобальные климатические катастрофы: Влияние ядерного конфликта на климат. М.: Гидрометеиздат, 1986. 159 с.
8. Климатические и биологические последствия ядерной войны. Отв. ред. Е. Велихов. М.: Наука, 1987. 288 с.
9. Питток Б., Акерман Т., Крутцен П. Последствия ядерной войны. Физические и атмосферные эффекты. пер. с англ. М.: Мир, 1988. 392 с.
10. Харуэлл М., Хатчинсон Т., Кроппер У. Последствия ядерной войны. Воздействие на экологию и сельское хозяйство. Пер. с англ. М.: Мир, 1988. 551 с.

11. Кузнецов Г.В., Барановский Н.В. Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 301 с.
12. Иншаков Ю. З. Моделирование процессов экологического воздействия пожаров на окружающую среду: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 03.00.16. Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, 2003. 128 с.
13. Черногор Л. Физика и экология катастроф: монография. Х.: ХНУ имени В. Н. Каразина, 2012. 556 с.
14. Черногор Л. Космос, Земля, человек: актуальные проблемы. Х.: ХНУ имени В. Н. Каразина, 2017. 384 с.
15. Иванов А. В. Газо-аэрозольные эмиссии при лесных низовых пожарах. Дисс. на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Красноярск: Институт леса им. В. Н. Сухачева СО РАН. 2003. 154 с.
16. Лесные пожары в России 28 июня 2020 года. (2021). URL: <http://www.forestforum.ru/viewtopic.php?f=24&t=24615>
17. В России горят более 990 тысяч гектаров леса. (2021). URL: <https://www.dw.com/ru/в-россии-горят-более-990-тысяч-гектаров-леса/a-53883974>
18. От лесных пожаров небо Калифорнии стало оранжевым. (2021). URL: <https://www.dw.com/ru/от-лесных-пожаров-небо-калифорнии-стало-оранжевым-a-54889865/a-54889865>
19. Американцы бегут от пожаров: в Орегоне эвакуировано полмиллиона человек. (2021). URL: <https://www.bbc.com/russian/news-54096007>
20. В США бушуют лесные пожары. (2021). URL: <https://ru.euronews.com/2020/09/12/usa-west-coast-massive-fires>
21. Лесные пожары в Арктике. Каковы их истинные масштабы? (2021). URL: <https://www.bbc.com/russian/features-49241145>
22. "У людей было 15 минут на сборы". В Канаде из-за небывалой жары сгорел поселок. (2021). URL: <https://www.bbc.com/russian/news-57695158>
23. Лесной пожар в испанской Андалусии захватил новые территории. (2021). URL: <https://rg.ru/2020/08/31/lesnoj-pozhar-v-ispanskoj-andalusii-zahvatil-novye-territorii.html>
24. В Греции бушуют лесные пожары вокруг Афин. (2021). URL: <https://www.eurointegration.com.ua/rus/news/2020/09/9/7114176/>
25. Во Франции бушуют лесные пожары: эвакуированы 10 тысяч человек. (2021). URL: <https://www.bbc.com/russian/news-40725728>
26. На пожаре в Луганской области погиб человек: горит 945 га. (2021). URL: <https://www.pravda.com.ua/rus/news/2020/09/3/7265071/>

Стаття поступила до редакції 30.06.2021

Стаття рекомендована до друку 12.10.2021

L. F. CHERNOGOR, DSc (Physics and Mathematics), Professor

Head of the Department of Space Radio Physics

e-mail: Leonid.F.Chernogor@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5777-2392>

V. N. Karazin Kharkiv National University, Svobody Sq., 4, 61022, Kharkiv, Ukraine

A. N. NEKOS¹, DSc (Geography), Professor

Head of the Department of Environmental Safety and Environmental Education

alnekos999@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1852-0234>

G. V. TITENKO¹, Ph.D. (Geography), Associate Professor,

Head of Karazin Institute of Environmental Sciences

titenko@karazin.ua ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8477-0672>

L. L. CHORNOHOR¹

Student of Karazin Institute of Environmental Sciences

L.L.Chornohor@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5313-8850>

¹V. N. Karazin Kharkiv National University, Svobody Sq., 6, 61022, Kharkiv, Ukraine

ECOLOGICAL CONSEQUENCES FROM FOREST BURNING IN THE NORTHERN HEMISPHERE IN 2020: RESULTS OF MODELING AND QUANTITATIVE CALCULATIONS

Purpose is quantitative estimation of the mass of emissions of combustion products, chemical elements, the energy and power of acoustic and thermal radiation caused by the forests large tracts burning in the Northern Hemisphere.

Methods. Analytical review of investigation problem, theoretical and computational, numerical modeling, system analysis.

Results. It was found that large-scale fires in the Northern Hemisphere in 2020 had catastrophic ecological consequences. The greatest contribution was made by the burning of forests in Russia and the USA. Ecosystems were affected on an area of about 15 million hectares. About 3,5 Gt of wood was irretrievably lost. About 140 Mt of smoke and more than 10 Mt of soot were emitted into the atmosphere. The mass of the injected CO gas was about 350 Mt. The mass of hydrocarbons emitted into the atmosphere was about 140 Mt. About 7,8 Gt of CO₂ gas was additionally emitted into the atmosphere. Hundreds of megatons of atomic nitrogen, hundreds of tons of potassium and calcium, as well as from units to tens of tons of such chemical elements as Fe, Zn, Cr, Br, Mn, Pb, Rb, Sr and Se have been emitted into the atmosphere. The energy of acoustic radiation was about 100 PJ, which is almost a thousand times higher than its energy under normal conditions. The energy of weakly damped infrasonic radiation was 1–10 PJ. The thermal radiation flux density reached 56–160 kW/m². Even after the distribution of forest combustion products around the globe, their concentration exceeded the concentration under normal conditions. This primarily applies to smoke, soot and carbon monoxide. The economic damage amounted to about 750 billion US Dollars. Dozens of people died and were injured. Material and moral damage has been caused to many thousands of people. Material and moral damage caused to many thousands of people.

Conclusions. The ecological consequences of the forests large tracts burning of Northern Hemisphere in 2020 for the planet became a kind of record.

KEYWORDS: ecological consequences, area of fire, combustible material, energy of fire, release of combustion products

References

1. Titenko, A. V. & Chornohor, L. L. (2020). Environmental consequences of large-scale forest fires in Ukraine in Spring–Autumn 2020. Proceedings of the XVI Ukrainian Science Taliev Lectures: *Environmental protection*. Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University. (In Russian).
2. Chornohor, L. L. (2020). Environmental consequences of large-scale forest fires in Ukraine in 2020. Proceeding of the VIII Intern. Scientific Conf. of Young Scientists: Ecology, neoecology, environmental protection and sustainable using of natural resources. Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University, 33–35 (In Ukrainian).
3. Chernogor, L. F., Nekos, A. N., Titenko, G. V. & Chornohor, L. L. (2021). Ecological consequences of large-scale forest fires in Ukraine in Spring – Summer – Autumn 2020. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University Series «Ecology*, (24), 79–90. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-24-07> (in Ukrainian).
4. Boer, M.M., Resco de Dios, V., & Bradstock, R.A. (2020). Unprecedented burn area of Australian mega forest fires. *Nature Climate Change*, 10, 171–172. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0716-1>
5. Khabarov, N., Krasovskii, A., Obersteiner, M., Swart, R., Dosio, A., San-Miguel-Ayanz, J., Durrant, T., Camia A. & Migliavacca M. (2016). Forest fires and adaptation options in Europe. *Regional Environmental Change*, 16, 21–30. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0621-0>

6. Silva, S., Fearnside, P., Graça, P., Brown, I., Alencar, A. & Melo, A. (2018). Dynamics of forest fires in the southwestern Amazon. *Forest Ecology and Management*, 424, 312–322. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.04.041>
7. Budyko, M., Golitsyn, S. & Izrael, Yu. (1986). Global climatic catastrophes: the impact of nuclear conflict on the climate. Moscow: Gidrometeoizdat (In Russian).
8. Velikhov E. (Ed.). (1987). Climatic and biological consequences of nuclear war. Moscow: Nauka. (In Russian).
9. Pittock, A. B., Ackerman, T. P., Crutzen, P. J., MacCracken, M. C., Shapiro, C. S. & Turco, R. P. (1990). Environmental consequences of nuclear war (scope 28): Volume 1, Physical and atmospheric effects. Great Britain: Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE).
10. Harwell, M. A., Hutchinson, T. C., Cropper Jr., W. P., Harwell, C. C. & Grover, H. D. (1985). SCOPE 28: Environmental consequences of nuclear war. Volume II. Ecological and agricultural effects. United States: Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE).
11. Kuznetsov G. V. & Baranovskii N. V. (2009). Forecast of forest fires appearance and their environmental consequences. Novosibirsk: Publ. SB RAS.
12. Inshakov Y. Z. (2003). Modelling processes ecological influence of fires on the environment. Candidate's Thesis. Voronezh: Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, (in Russian)
13. Chernogor, L. F. (2012). Physics and Ecology of Disasters. Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University Publ. (in Russian).
14. Chernogor, L. F. (2017). Space, the Earth, Mankind: Contemporary Challenges. Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University Publ. (in Russian).
15. Ivanov A. V. (2003). Gas-aerosol emissions during forest ground fires. Candidate's Thesis. Krasnoyarsk: Sukahev Institute of Forest SB RAS. (in Russian).
16. Forest fires in Russia on June 28, 2020. (2021). Retrieved from <http://www.forestforum.ru/viewtopic.php?f=24&t=24615>
17. More than 990 thousand hectares of forest burn in Russia. (2021). Retrieved from <https://www.dw.com/ru/в-россии-горят-более-990-тысяч-гектаров-леса/a-53883974>
18. California sky turned orange from forest fires. (2021). Retrieved from <https://www.dw.com/ru/ot-lesnyh-pozharov-nebo-kalifornii-stalo-oranzhevym-a-54889865/a-54889865>
19. Americans fleeing from the fire: half a million people evacuated in Oregon. (2021). Retrieved from <https://www.bbc.com/russian/news-54096007>
20. Forest fires are raging in USA. (2021). Retrieved from <https://ru.euronews.com/2020/09/12/usa-west-coast-massive-fires>
21. Forest fires in Arctic. What is their true scale? (2021). Retrieved from <https://www.bbc.com/russian/features-49241145>
22. "People had 15 minutes to get ready." In Canada, due to unprecedented heat, a village burned down. (2021). Retrieved from <https://www.bbc.com/russian/news-57695158>
23. Forest fire in Spanish Andalusia captured new territories. (2021). Retrieved from <https://rg.ru/2020/08/31/le-snoj-pozhar-v-ispanskoj-andalusii-zahvatil-novye-territorii.html>
24. Forest fires rage in Greece around Athens. (2021). Retrieved from <https://www.eurointegration.com.ua/rus/news/2020/09/9/7114176/>
25. Forest fires rage in France: 10 thousand people evacuated. (2021). Retrieved from <https://www.bbc.com/russian/news-40725728>
26. A man died in a fire in the Luhansk region: 945 ha are on fire. (2021). Retrieved from <https://www.pravda.com.ua/rus/news/2020/09/3/7265071/>

The article was received by the editors 30.06.2021
The article is recommended for printing 12.10.2021

Л. Ф. ЧОРНОГОР, д-р физ.-мат. наук, проф.,
заведующий кафедры космической радиофизики
e-mail: Leonid.F.Chernogor@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5777-2392>

Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина,
площадь Свободы, 6, г. Харьков, Украина, 61022

А. Н. НЕКОС¹, д-р геогр. наук, проф.,
заведующая кафедры экологической безопасности и экологического образования
alnekos999@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1852-0234>

А. В. ТИТЕНКО¹, канд. геогр. наук, доц.,
директор учебно-научного института экологии
titenko@karazin.ua ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8477-0672>

Л. Л. ЧОРНОГОР¹,
студент учебно-научного института экологии
L.L.Chornohor@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5313-8850>

¹*Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, площадь Свободы, 6, г. Харьков, Украина, 61022*

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ГОРЕНИЯ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ В СЕВЕРНОМ ПОЛУШАРИИ В 2020 г.: РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И КОЛИЧЕСТВЕННЫХ РАСЧЕТОВ

Цель. Количественная оценка массы выбросов продуктов горения, химических элементов, энергии и мощности акустического и теплового излучений, вызванных горением больших лесных массивов в Северном полушарии.

Методы. Аналитический обзор проблемы исследований, теоретико-расчетные, численное моделирование, системный анализ.

Результаты. Установлено, что крупномасштабные пожары в Северном полушарии в 2020 г. имели катастрофические экологические последствия. Наибольший вклад внесло горение лесов в России и США. Пострадали экосистемы на площади около 15 млн га. Безвозвратно потеряно около 3,5 Гт древесины. В атмосферу выброшено около 140 Мт дыма, более 10 Мт сажи. Масса инжесктированного газа СО составила около 350 Мт. Масса выброшенных в атмосферу углеводов составила около 140 Мт. В атмосферу дополнительно эмитировано около 7,8 Гт газа СО₂. В атмосферу выброшено сотни мегатонн атомарного азота, сотни тонн калия и кальция, а также от единиц до десятков тонн таких химических элементов, как Fe, Zn, Cr, Br, Mn, Pb, Rb, Sr и Se. Энергия акустического излучения составила около 100 ПДж, что почти в тысячу раз превысило ее энергию в нормальных условиях. Энергия слабозатухающего инфразвукового излучения составила 1–10 ПДж. Плотность потока теплового излучения достигала 56–160 кВт/м². Даже после распределения продуктов горения лесов по всему земному шару их концентрация превышала концентрацию в нормальных условиях. В первую очередь это относится к дыму, саже и угарному газу. Экономический ущерб составил около 750 млрд долларов США. Погибли и были травмированы десятки людей. Материальный и моральный ущерб нанесен многим тысячам людей.

Выводы. Экологические последствия горения больших массивов лесов в 2020 г. для планеты стали своеобразным рекордом.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: экологические последствия, площадь пожара, горючий материал, энергетика пожара, выброс продуктов горения

Статья поступила в редакцию 30.06.2021

Статью рекомендовано к печати 12.10.2021

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-05>

УДК (UDC): 502.05: 504.05: 504.064: 625.7

Г. В. АДАМОВА

аспірантка лабораторії оцінки впливу на навколишнє середовище
та екологічної експертизи

e-mail: abolmasova@niiep.kharkov.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2560-1032>

Науково-дослідна установа

«Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»

вул.Бакуліна,6, м. Харків, 61166,Україна

КОМПЛЕКСНА ЕКОЛОГО-АНАЛІТИЧНА ОЦІНКА СИСТЕМИ «АВТОМОБІЛЬ – ДОРОГА – СЕРЕДОВИЩЕ» НА ПРИКЛАДІ ДІЛЯНКИ ДОРОГИ М-29

Мета. Надати методичний підхід та результати комплексної еколого-аналітичної оцінки впливу на довкілля системи «автомобіль-дорога-середовище».

Методи. Експертно-аналітичний аналіз, метод аналізу ієрархій Т.Сааті, метод прямих вимірів та відбір проб рослинності та ґрунту, лабораторні дослідження вмісту важких металів у відібраних пробах методом атомно-абсорбційної спектроскопії.

Результати. Аналіз комплексного впливу системи «автомобіль-дорога-середовище» (АДС) на стан навколишнього природного середовища дав змогу розробити комплексну багаторівневу ієрархічну структуру впливу системи «АДС» на складові довкілля, для подальшого проведення еколого-аналітичної оцінки. За результатами еколого-аналітичної оцінки визначено, що складові навколишнього природного середовища зазнають значного впливу з боку діяльності системи «АДС», причому найбільше живі організми у придорожньому просторі (43,5 % від загального впливу). Під час проведення натурних досліджень, з'ясовано, що доцільно застосовувати прямі виміри під час вибору інформативності точок відбору проб ґрунту та рослинності. Після опрацювання лабораторних досліджень виявлено перевищення ГДК важких металів у зразках рослинності та ґрунту придорожного простору на відстані 10 м, 50 м та 100 м від полотна дороги, встановлено ранговий ряд накопичення важких металів у досліджуваних зразках рослинності та ґрунту придорожного простору.

Висновки. Встановлено, що комплексність впливу системи «АДС» на довкілля суттєво залежить від біотичної складової придорожного простору, якій, як правило, до цього часу мало приділялося уваги. Зроблено висновок про те, що біота придорожного простору не тільки схильна до кумуляції забруднюючих речовин, в тому числі важких металів, а може використовуватись для ефективного комплексного моніторингу екологічного стану навколишнього середовища в зоні впливу автомобільних доріг.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: експертно-аналітична оцінка, метод аналізу ієрархій, придорожній ґрунт, придорожня рослинність, важкі метали

Як цитувати: Адамова Г. В. Комплексна еколого-аналітична оцінка системи «автомобіль – дорога – середовище» на прикладі ділянки дороги М-29. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2021. Вип. 25. С. 55-69. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-05>

In cites: Adamova G.V. (2021). Comprehensive ecological and analytical assessment of the “car-road-environment” system on the example of the road M-29 section. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Ecology»*, (25), 55-69. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-05>

Вступ

Постановка проблеми. Ключовим елементом транспортної системи держави є автомобільний транспорт, який виконує більше половини обсягу пасажирських перевезень і три чверті вантажних перевезень в країні.

Відповідно до збільшення чисельності автопарку відбувається загострення екологічних проблем, оскільки в автотранспортних засобів у нашій країні великий середній вік і низький рівень техніко-експлуатаційних показників. Так, за даними ІАГ AUTO

© Адамова Г. В., 2021



[This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0.](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Consulting, станом на початок 2019 року, автомобільний парк України складав 10 269 268 автомобілів середній вік яких становив близько 21,5 років, на початок 2021 року середній вік авто складає вже 22,7 років.

Для порівняння, середній вік автомобілів в ЄС – 10,5 років. Близько 53,4% автомобільного парку України було вироблено ще до 1991 року.

Половина автомобільного парку України – автомобілі екологічного стандарту ЄВРО-0. Частка автомобілів, які відповідають стандарту ЄВРО-5 та вище, не більше 5-6%. А електромобілів, станом на 1 січня 2021 року нараховується всього лише 23 700 одиниць з середнім віком 4,9 років. В результаті чого, від шкідливого впливу автомобільного транспорту страждають не лише люди, але й рослинний та тваринний світ [1-3].

В Україні щороку кількість автомобільних доріг збільшується приблизно на 500 км та близько 1200 км реконструюється. Необхідно відмітити, що при цьому, в залежності від категорії автомобільної дороги та цінності земляних угідь, лише на один її кілометр відводиться від двох до семи гектарів земельних угідь.

Станом на 1 січня 2020 року загальна протяжність доріг України складала 161,9 тис.км. З них з твердим покриттям 158,5 тис.км (97,9%) [4].

У 2020 році в Україні побудовано та відремонтовано 4 056,0 км. доріг державного значення, 158 мостових споруд, 2 527,0 км. доріг місцевого значення. Уряд планує розширити мережу швидкісних доріг, що забезпечить економію часу водіям, а також зробить подорожі між українськими містами комфортнішими та безпечнішими.

У 2021 році планується оновити та побудувати 4 500 км державних доріг, що становить 37 % основної мережі доріг. На сайті Державного агентства автомобільних доріг України надано інтерактивну карту ремонту доріг на якій відображено усі об'єкти поточного середнього ремонту, розпочаті роботи, загальна вартість будівництва об'єктів, проектно-кошторисної документації, терміни виконання та генеральні підрядники. В таблиці 1 представлено розподілення автомобільних доріг державного значення з твердим покриттям відповідно до їх значення та категорії [5-9].

Таблиця 1
Автомобільні дороги загального користування з твердим покриттям за категоріями*

Public paved roads by category

Table 1

Значення автомобільних доріг	Всього доріг, км	Автомобільні дороги з твердим покриттям, км	У тому числі за категоріями, км				
			I	II	III	IV	V
Всього по Україні	161 977,0	158 476,0	2 751,8	12 454,0	26 252,7	103 321,6	13 695,9
у тому числі:							
державного значення	46 640,0	44 520,4	2 744,9	11 949,9	18 199,3	11 446,0	180,3
місцевого значення	115 337,0	113 955,6	6,9	504,1	8 053,4	91 875,6	13 515,6
Харківська область	9 672,8	9 431,0	179,8	550,7	1 608,8	6 591,6	500,1
у тому числі:							
державного значення	2 343,9	2 343,9	179,8	550,7	1 547,8	65,6	-
із них: міжнародні	617,4	617,4	179,8	435,2	2,4	-	-
національні	108,2	108,2	-	108,2	-	-	-
регіональні	639,1	639,1	-	7,3	631,8	-	-
територіальні	979,2	979,2	-	-	913,6	65,6	-
місцевого значення	7328,9	7087,1	-	-	61,0	6526,0	500,1
із них: обласні	1275,9	1275,9	-	-	61,0	1214,9	-
районні	6053,0	5811,2	-	-	-	5311,1	500,1

*Примітка: таблиця складена автором за даними [5-9].

Безперечно, будівництво нових автомобільних доріг та капітальні ремонти вже збудованих є одним з пріоритетних напрямків для держави, оскільки дороги є складовою економічного розвитку країни, а також забезпечують зв'язок між регіонами країни та виконують комунікативну функцію. Але поряд з перевагами, які надають дороги, необхідно також пам'ятати, що вони також є вагомим фактором негативного впливу на навколишнє середовище та всі його складові.

В Законі України «Про охорону навколишнього природного середовища» зазначено, що: «Охорона навколишнього природного середовища, раціональне використання природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки життєдіяльності людини - невід'ємна умова сталого економічного та соціального розвитку України».

Таким чином, запропонована нами структура комплексної оцінки впливу автомобільної дороги на об'єкти навколишнього природного середовища надасть змогу більш повно та комплексно врахувати всі чинники впливу від системи «автомобіль-дорога-середовище» (АДС) враховуючи їх просторовий (територіальний) розподіл для забезпечення більш дієвих рекомендацій щодо повного уникнення чи зменшення впливу при реконструкції та будові автомобільної дороги або ж його мінімізації на дорозі, що вже експлуатується.

Аналіз досліджень і публікацій. Питання щодо впливу експлуатації автомобільних доріг на навколишнє середовище є одним з актуальних екологічних проблем сьогодення. В вітчизняних наукових роботах Д.Н. Кавтарадзе, П.М. Каніло, Н.В. Коронівського, В.Н. Луканіна, Л.І. Белих, Н.Б. Флорової, Н.І. Ірха, Н.В. Внукової, А.А. Белятинського, Ю.А. Буйволова та ін. висвітлено проблеми постійно зростаючого впливу системи «автомобіль-дорога» на навколишнє середовище зокрема процеси розповсюдження та трансформації транспорт-

них забруднень, вплив придорожніх зон та території.

Дослідженнями, присвяченими визначенням шляхів зменшення шкідливості викидів та питанням захисту довкілля від забруднень займалися вчені Д.З. Зеркалов, А.В. Гриценко, Н.В. Внукова, Г.М. Франчук, Г.І. Архіпова, Є.Б. Угненко та ін. Дослідження фізичних впливів у системі «АДС» розкрито у роботах Є.Б. Угненко, Н.В. Внукової, Н.І. Іванова, Н.Н. Мініної, О.В. Бажинова, О.П. Смірнова, А.М. Лелюхіна та ін.

В роботах A. Glasser, G. Grimmer, R.D. Waniska, R. J. Gordon, H. Bonke та ін. надані дослідження з хімічного складу автомобільних викидів.

Дослідження пов'язані з застосуванням методу аналізу ієрархій відстежуються у роботах Т.К. Кравченко, Н.Н. Середенко, А.А. Павлова, О.В. Подиновської, В.В. Подиновського, П.І. Поспелова та ін.

Аналіз наукових джерел [14-25], присвячених впливу системи «АДС» на навколишнє природне середовище дав змогу з'ясувати, що в основній своїй масі це дослідження факторів впливу системи, які відносяться або окремо до транспорту або окремо до автомобільної дороги або ж тільки декількох з них.

Тому є актуальними дослідження в області впливу системи «АДС» на навколишнє природне середовище з урахуванням всіх факторів впливу, об'єктів впливу, умов його формування та розповсюдження у довкіллі.

Мета – висвітлити методичний підхід та результати комплексної еколого-аналітичної оцінки впливу на довкілля системи «автомобіль-дорога-середовище», а саме структури взаємодії внутрішніх та зовнішніх факторів та їх просторовий аналіз, в тому числі фактичної оцінки екологічного стану придорожного простору вибраної ділянки дороги М-29 (Е-105) на прикладі накопичення у біоті придорожного простору важких металів дорожньо-транспортного походження.

Об'єкти та методи дослідження

Об'єктом дослідження для проведення експертно-аналітичного оцінювання та натурних досліджень, з метою перевірки адекватності отриманих оцінок, обрано ділянку дороги М-29 Харків – Дніпро, яка є автошляхом міжнародного значення, являється швидкісним аналогом дороги М-18 та є частиною Європейського маршруту Е-105, що проходить від Норвегії через Росію до

України (рис.1).

Методом прямих натурних досліджень на придорожній території обраної ділянки автомобільної дороги на місцях відбору проб проведено індикацію стану забруднення повітряного середовища. Також на даних точках відібрані зразки ґрунту та рослинності для подальшого їх дослідження в лабораторних умовах. Натурні дослідження



Умовні позначення: 1:5 – точки прямих вимірів стану атмосферного повітря; 1:3,5 – точки відбору проб ґрунту та рослинності; 6 – точка відбору контрольних проб рослинності та ґрунту.

Рис. 1 – Дорога М-29 Харків-Дніпро (досліджувана ділянка: 20км – 22 км)

Symbols: 1:5 – points of direct measurements of atmospheric air; 1:3,5 – sampling points of soil and vegetation; 6 – point of sampling of vegetation and soil control samples

Fig. 1 – Road M-29 Kharkiv-Dnipro (study area: 20 km - 22 km)

проводили з трикратною повторюваністю. Для вибору оптимальних ділянок відбору проб використовували моноблочний прилад, що являє собою комплексну станцію прямих вимірів з часом відгуку – лише 1с, та часом вимірювання не більше 10 с.

Станція включає лазерний датчик якості повітря PM2.5 пилу Nova SDS011 та датчик параметрів середовища Bosch Sensortec | VME680 HSM1. Використана у станції мікросхема VME680 має вбудований металооксидний датчик (Metal Oxide Semiconductor)

летких органічних сполук (ЛОС) та датчики, що дозволяють вимірювати тиск, температуру, вологість і якість повітря.

В SDS011, використано принцип лазерного розсіювання, що дозволяє оцінити концентрацію частинок пилу у повітрі за загальноприйнятою класифікацією - розміром від 0,3 до 2,5 мкм і від 2,5 до 10 мкм. Точність: макс. ± 10 мкг/м³. Діапазон робочої температури: -10 ... +50 ° C [10]. На рис. 2 надано скріншот екрану роботи станції.

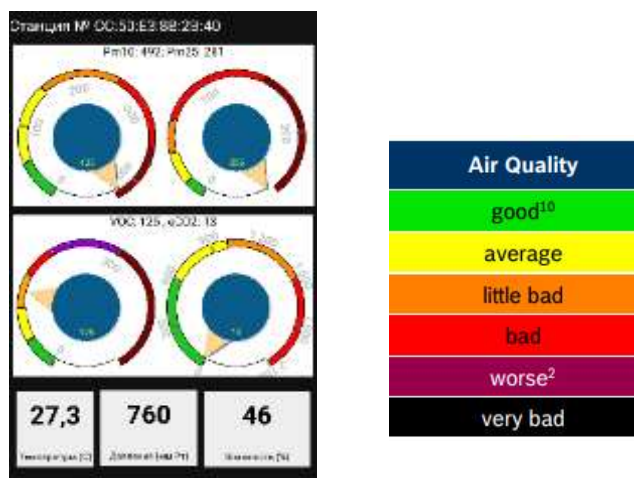


Рис. 2 – Скріншот екрану роботи станції прямих вимірів

Fig. 2 – Screenshot of the direct measurement station operation screen

Вплив системи «АДС» на здоров'я людини може бути оцінено за показниками вмісту важких металів в рослинах та ґрунті придорожного простору, які можуть споживатися у вигляді лікарських рослин та у вигляді корму домашніми травоядними тваринами населення, що проживає поряд з дорогою. Визначення вмісту проводилося методом атомно-абсорбційної спектроскопії в лабораторії «Еколого-аналітичних досліджень» УК-РНДІЕП (<http://www.niiep.kharkov.ua/node/179>) на атестованому оптико-емісійному спектрометрі високої роздільної здатності з індуктивно-зв'язаною плазмою PlasmaQuant PQ 9000 Elite. Автор, поряд зі співробітниками лабораторії, приймав безпосередню участь у відборі проб рослинності та ґрунту, пробопідготовці та проведенні лабораторних досліджень. Результати проведених досліджень доповідались на міжнародних конференціях та опубліковані в [11-13].

Для експертно-аналітичного оцінювання впливу системи «автомобіль-дорога-середовище» на придорожній простір було застосовано метод аналізу ієрархій Т.Сааті з використанням програмного комплексу.

Надзвичайно важливою екологічною проблемою сьогодення є автомобільний транспорт, що в значній мірі забруднює атмо-

сферне повітря, ґрунт, воду, рослини і сільськогосподарську продукцію та є одним з потужних джерел накопичення важких металів у геофізичних середовищах, рослинному та тваринному світі.

Звичайно ж, що при русі дорогою одиночного автомобіля, він неспроможний надати хоч якогось помітного впливу на довкілля та екосистеми. Зовсім інша річ, коли по автомобільним дорогам в складі транспортних потоків рухається сукупність транспортних засобів. Кожен з транспортних засобів класифікується в залежності від типу двигуна та поділяється на класи в залежності від робочого об'єму двигуна, ваги та габаритної довжини.

Традиційно найбільш шкідливим впливом на довкілля від автомобільного транспорту вважаються викиди відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згоряння, що являють собою складну багатокомпонентну суміш газів, парів, крапель рідин і дисперсних твердих частинок. В таблиці 2 представлені обсяги викидів забруднюючих речовин у розрахунку на 1 транспортний засіб, розраховані згідно з «Методикою розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів» [14].

Таблиця 2

Валові викиди забруднюючих речовин та парникових газів у атмосферне повітря від 1-го транспортного засобу при проходженні ним 1 км дороги, кг [14]

Table 2

Gross emissions of pollutants and greenhouse gases into the atmosphere from the 1st vehicle when passing it 1 km of road, kg [14]

Вид пального	Бензин	Дизель	Газ скраплений	Газ стиснений
Назва забруднюючої речовини та парникового газу				
Оксид вуглецю (CO)	0,02015982	0,0035838	$2,51998 \cdot 10^{-5}$	$9,92939 \cdot 10^{-6}$
Діоксид азоту (NO ₂)	0,00125874	0,00196878	$1,57343 \cdot 10^{-6}$	$1,64236 \cdot 10^{-6}$
Сірчистий ангідрид (SO ₂)	0,0000666	0,0002838	$8,325 \cdot 10^{-8}$	0
Неметанові леткі органічні сполуки (ЛОС)	0,0035298	0,00020328	$2,13953 \cdot 10^{-6}$	$1,51182 \cdot 10^{-6}$
Метан	0,000093906	$7,6692 \cdot 10^{-6}$	$1,1988 \cdot 10^{-7}$	0
Азоту оксид (NO)	$1,25208 \cdot 10^{-5}$	0,00001089	0	0
Аміак	$2,664 \cdot 10^{-7}$	0	0	0
Сажа	0	0,00045738	0	0
Бенз(а)пірен (C ₂₀ H ₁₂)	0	0,00000198	0	0
Свинець (Pb)	$1,12554 \cdot 10^{-11}$	0	0	0
Сумарні обсяги викидів	0,237109453	0,213625579	$2,91159 \cdot 10^{-5}$	$1,30836 \cdot 10^{-5}$
Вуглекислий газ	0,2119878	0,207108	0	0

За хімічним складом, властивостями та впливом на живі організми відпрацьовані гази поділяють на вісім груп [15-17]:

1. Азот, кисень, водень, водна пара, вуглекислий газ і ін. Вони є природними складовими атмосферного повітря та являють собою основні нетоксичні компоненти відпрацьованих газів автотранспортних засобів;

2. Монооксид вуглецю (чадний газ), що є продуктом неповного згоряння палива;

3. Окисли азоту, утворені в камері двигунів внутрішнього згоряння в результаті термічного синтезу з повітря (при звичайних атмосферних умовах перетворюється в діоксид);

4. Вуглеводні різних гомологічних рядів: парафінові, нафтені та ароматичні – утворюються в результаті неповного згоряння палива в двигуні (наприклад ароматичний бенз(а)пірен ($C_{20}H_{12}$), що має канцерогенну дію).

5. Альдегіди, найбільша кількість яких утворюється на режимах холостого ходу і малих навантажень.

6. Сажа та інші дисперсні частини (продукти зносу двигунів, аерозолі, масла, нагар і ін.) – утворюється при неповному згорянні і термічному розкладанні вуглеводнів палива. Токсичність обумовлена здатністю адсорбувати на своїй поверхні канцерогенні та мутагенні речовини, що входять до складу відпрацьованих газів (насамперед бенз(а)пірен).

7. Сполуки сірки (сірчистий ангідрид, сірководень).

8. Важкі метали (алюміній, нікель, ртуть, хром, кадмій, цинк, залізо, миш'як, марганець, берилій, ртуть, свинець).

Загальновідомим є той факт, що одними з найбільш небезпечних забруднювачів серед токсичних речовин є важкі метали. Метали класифікуються як "важкі метали", якщо у своєму стандартному стані вони мають питому вагу більше 5 г/см^3 .

Важкі метали, передусім кадмій, нікель, хром, мідь, кобальт, свинець та марганець справляють канцерогенний, мутагенний та тератогенний вплив на біоту довкілля в тому числі і на людину. Потрапляння в харчовий ланцюг людини або тварини може відбуватись в результаті накопичення їх у їстівних рослинах, зокрема вирощених на забруднених ґрунтах поблизу автомобільних доріг. В навколишнє природне середовище вони потрапляють в результаті роботи автотранспортних засобів (гальмівні масла, антидето-

наційні добавки, присадки до палив та мастил, стирання автопокришок та циліндрів двигуна, знос підшипників, вкладишів, покриттів кузовів) та стирання дорожнього полотна при його експлуатації [18-20].

Важливим фактором негативного впливу автомобільних доріг на довкілля є поверхневий стік зважених часток та нафтопродуктів з дорожнього полотна. Забруднення нафтопродуктами відбувається в результаті витоків з транспортних засобів, резервуарів або в разі поломок на маршруті. Дорожній пил також збагачений органічними забруднювачами, такими як поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАУ), нафтові вуглеводні, які виділяються переважно з транспортних засобів та/або під час експлуатації та утримання доріг. Забруднений дорожній пил разом з дощовим стоком потрапляє на придорожній ґрунт та/або у водні об'єкти поблизу доріг, забруднюючи їх.

Крім того забруднення поверхневого стоку викликають хімічні реагенти [17], в тому числі, що застосовуються для боротьби з ожеледицею на автомобільних дорогах. В результаті чого разом з поверхневим стоком на узбіччя автомобільних доріг потрапляє близько 500 000 т солей на рік. Окрім перелічених забруднювачів в поверхневому стоці з доріг присутні біогенні, бактеріальні забруднення та важкі метали (цинк, хром (IV), кадмій, нікель, залізо) та ін.

Хімічний склад стічних вод з автомобільних доріг з різною інтенсивністю руху за джерелами [21,22] представлений в таблиці 3. На сьогодні лімітуючими показниками забруднення поверхневого стоку з автомобільних доріг є нафтопродукти, завислі речовини та важкі метали.

Крім вже перелічених факторів значний вплив на навколишнє природне середовище справляють такі фізичні фактори як шум, вібрація, електромагнітні поля.

Транспортний шум - це перевищення природного рівня шуму, що спричинений роботою двигунів, колесами, гальмами та аеродинамічними особливостями транспортного засобу [23].

Автотранспортний шум створюється великою кількістю джерел, які представлені на рис. 3. Аеродинамічний шум передає повітряне середовище, механічний шум - зовнішня поверхня двигуна і агрегати автомобіля [24,25].

Таблиця 3
Діапазон коливань кількісного вмісту забруднюючих речовин у стічних водах з автомобільних доріг з різною інтенсивністю руху [21,22]

Table 3
Range of fluctuations in the quantitative content of pollutants in wastewater from highways with different traffic intensities [21,22]

Показники складу зливових вод	Авто-магістралі з інтенсивним рухом (інтенсивність руху > 1000 авт/год)	Автомобільні дороги біля АЗС (інтенсивність руху 700-900 авт/год)	Автомобільні дороги центральних р-нів міста (інтенсивність руху 500 авт/год)	Автомобільні дороги на території сучасної житлової за будови (інтенсивність руху 300-400 авт/год)	Приміські дороги (інтенсивність руху 100-120 авт/год)	Приміські дороги (інтенсивність руху < 62,5 авт/год)
	Діапазон концентрацій забруднюючих речовин, мг/дм ³					
Завислі речовини	1300-2700	2000-2500	2000-3500	1050-2500	650-1500	400-650
Нафто-продукти	20-60	40-100	30-70	10-15	10-70	5,5-10
Цинк	0,04-1,7	0,1-1,9	0,2-0,95	0,1-0,8	0,4-1,6	0,1-0,4
Хром	0,015-0,2	0,02-0,025	0,015-0,2	0,01-0,05	0,01-0,2	0,005-0,01
Кадмій	0,001-0,005	0,01-0,02	0,005-0,01	0,001-0,005	0,01-0,2	0,005-0,01
Нікель	0,02-0,10	0,01-0,11	0,02-0,10	0,03-0,05	0,02-0,06	0,01-0,02
Мідь	0,01-0,05	0,01-0,10	0,01-0,05	0,005-0,05	0,006-0,07	0,005-0,006
Залізо	0,02-0,5	0,01-0,7	0,02-0,5	0,02-0,2	0,08-0,66	0,02-0,08

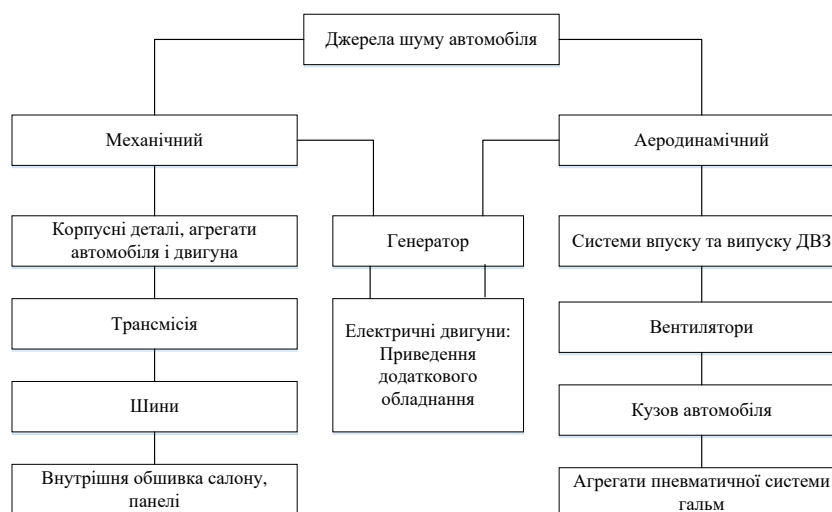


Рис. 3 – Класифікація джерел шуму від автотранспортних засобів [24]

Fig. 3 – Classification of noise sources from vehicles [24]

Тобто, система «автомобіль-дорога» спричиняє на навколишнє середовище різноплановий, багатофакторний, комплексний вплив на всі складові довкілля (грунти, атмосферу, ґрунтові та поверхневі води, рослинність, тварин та людей). Такий вплив доцільно розглядати комплексно, задля пошуку найбільш оптимально-ефективних заходів,

направлених на зниження цього впливу для кожної конкретної досліджуваної дороги або окремих її ділянок.

Для здійснення комплексної оцінки нами була розроблена структура оцінювання комплексного впливу експлуатації автомобільної дороги на об'єкти НПС, яка складається з елементів, пов'язаних один з одним системними взаємозв'язками, що характери-

зують та описують критерії формування оцінок, комплексність факторів, що враховує їх фізичну та хімічну природу, умови розповсюдження і накопичення в природному середовищі (рис.4).

Особливої уваги заслуговує те, що в ній враховано біотичні та абіотичні умови середовища, що мають досить суттєве значення у розповсюдженні впливу системи «АДС» [11,26].

Лінія зв'язку, що поєднує верхній елемент рівня та нижній елемент рівня пояснює

природу, характеристику та умови, що описують взаємодію між ними.

Для визначення внеску кожного елемента в загальну структуру оцінки нами було використано метод аналізу ієрархій Т. Сааті.

Даний метод дозволяє виконувати дослідження складних систем з комплексним ієрархічним порівневим оцінюванням попарно елементів кожного рівня, що ґрунтуються на системному підході та реалізується шляхом декомпозиції системи на окремі складові та виявлення зв'язків між ними.

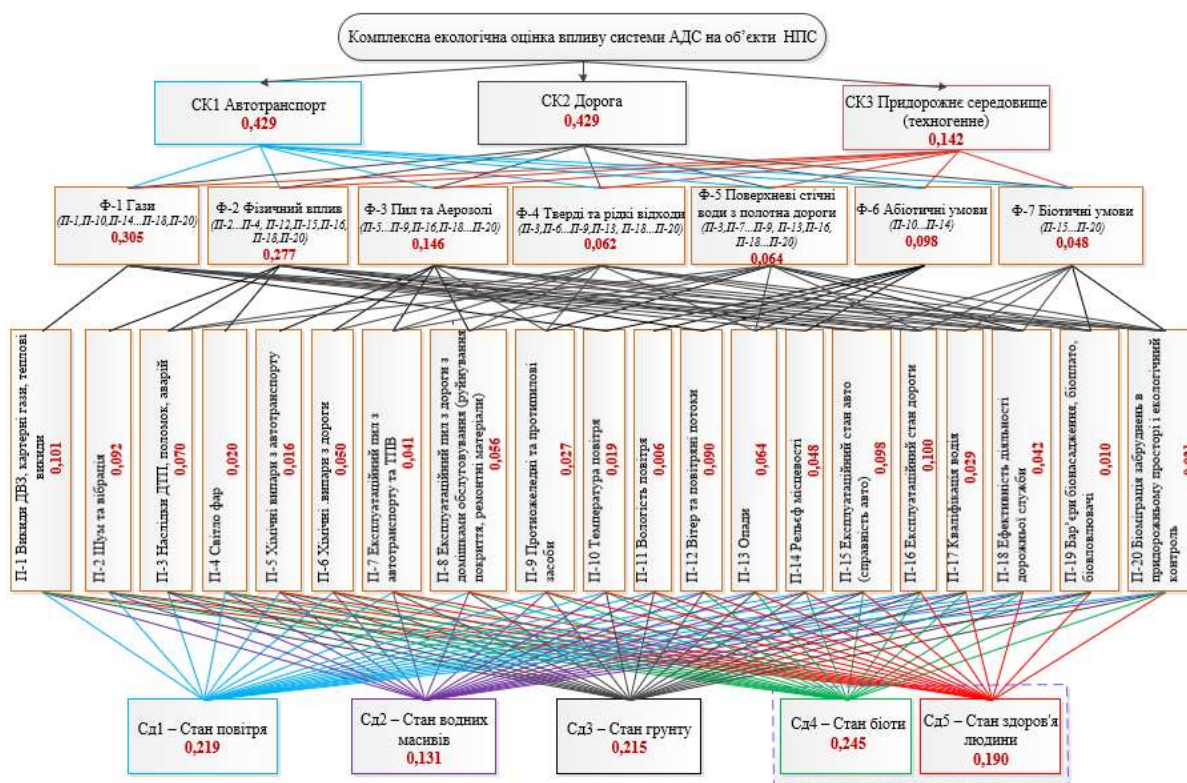


Рис.4 – Структура оцінки комплексного впливу автомобільної дороги на об'єкти НПС (розроблено автором)

Fig.4 – The structure of the assessment of the complex impact of the highway on the environment (developed by the author)

Питання формування експертно-аналітичної групи для проведення досліджень потребує особливої уваги, що зазначено в [27,28]. Підбір експертної групи відбувається у декілька етапів. Спершу встановлюють галузі знань, що прямо або опосередковано пов'язані з проблемою, що досліджується. Далі намічають список «потенційних» експертів, які за своїми професійними якостями компетентні в цих галузях знань. Зазвичай для цього використовуються

показники, що відображають професійний рівень фахівця (посада, вчений ступінь і звання, кількість опублікованих наукових праць і ін.). Після цього вирішується питання про чисельний склад експертної групи, який залежить від обмежень фінансового, часового й організаційного характерів. Остаточна група формується шляхом виділення «потенційних» експертів, які з погляду конкретного вирішуваного завдання є найбільш компетентними. При цьому, задля

виключення впливу відомчих інтересів на мету оцінювання, у складі групи по можливості забезпечують рівне представництво фахівців різних напрямів, які існують в досліджуваній галузі. Для отримання узгоджених результатів опитування експертів, як правило, проводять або декілька турів оцінювання з проміжним висвітленням результатів та їх обговоренням, або в 2 етапи, де на першому експерти висвітлюють кожен окремо свої думки, а узагальнююче оцінювання проводять у вигляді колективної комплексної оцінки, де в режимі диспуту уточнюються значення попарних порівнянь та їх обґрунтованість кожним з експертів і використовують або узагальнену середню оцінку, або в кожному конкретному оцінюванні надають перевагу профільному фахівцю [27,28].

Таким чином, нами, для проведення еколого-аналітичної оцінки впливу системи «автомобіль-дорога-середовище» на природній простір (рис.4), було встановлено склад експертно-аналітичної групи, до якої ввійшли експерти з фахом: інженер-еколог в галузі експлуатації автомобільних доріг (для оцінювання факторів впливу, що розкриваються за допомогою параметрів П-1...П-3, П-5...П-9, П-14...П-20), біолог (аналогічно для параметрів – П-1...П-9, П-12, П-19, П-20), фахівець в галузі ОВД (аналогічно для параметрів – П-1...П-9, П-12, П-14...П-20), хімік-аналітик (аналогічно для параметрів – П-1, П-5...П-16, П-19, П-20), спеціаліст в області геоінформаційних технологій (аналогічно для параметрів – П-10...П-16, П-19, П-20).

Комплексна оцінка впливу системи «АДС» на об'єкти НПС була проведена з застосуванням методу аналізу ієрархій та включала експертно-аналітичне визначення вагових коефіцієнтів вкладу кожного елемента структури, наданої на рис.4, та синтезу всіх отриманих вагових коефіцієнтів, що формує загальний результат оцінки впливів. Для здійснення оцінювання було використано комп'ютерну програму «МАІ», яка реалізує відомий метод аналізу ієрархій Томаса Сааті з доопрацюваннями УКРНДІЕП в частині підходу до експертно-аналітичної оцінки та шкали оцінювання, що детально описані в роботах Аніщенко Л.Я., Пісні Л.А., Гончаренко І.О. та частково висвітлені стосовно АДС в [26]. Застосована в роботі комп'ютерна програма МАІ,

розроблена в УКРНДІЕП, перевірена зазначеними дослідниками та має своєю особливістю те, що в ній узгодження думок експертів перевіряється автоматично, в процесі заповнення попарних порівнянь з заданою точністю перед початком роботи, що відповідає вимогам до методу аналізу ієрархій, сформованим Томасом Сааті. Таким чином, вагові коефіцієнти кожного з елементів структури за рівними розподілу впливу в системі АДС на складові навколишнього природного середовища надано на рис.4.

Під час проведення експертно-аналітичного дослідження експертами було зроблено припущення, що ступінь важливості впливу «СК1 Автотранспорт» та «СК2 Дорога» є рівноважним. Придорожнє середовище є буферною зоною, яка може як розповсюджувати вплив так і частково його знижувати.

В результаті дослідження вперше вдалося побудувати пріоритетний ряд параметрів, що характеризують фактори впливу, що в подальшому дозволить ефективно оцінювати та впроваджувати заходи зменшення впливу. Пріоритетний ряд параметрів виглядає наступним чином: П-1 > П-16 > П-15 > П-2 > П-12 > П-3 > П-13 > П-8 > П-6 > П-14 > П-18 > П-7 > П-17 > П-9 > П-20 > П-4 > П-10 > П-5 > П-19 > П-11.

За результатами еколого-аналітичної оцінки визначено пріоритетність показників складових довкілля, що зазнають впливу від «АДС», а саме: вплив на зміни стану біоти складає 24,5 % загального впливу, на зміни стану повітря – 21,9 %, на зміни стану ґрунту – 21,5 %, на зміни стану здоров'я людини – 19,0 %, та зміни стану водних масивів – 13,1 %

Розроблений комплексний ієрархічний підхід до оцінки АДС із застосуванням МАІ потребує подальшого уточнення кількісних характеристик впливу на складові довкілля шляхом лабораторних досліджень біотичних компонентів та ґрунту придорожнього простору за стандартизованими методами.

Для дослідження було обрано ділянку дороги М-29 Харків-Дніпро (20км – 22 км від перетину з М-03) та визначено її технічні характеристики (табл.4).

Вибрана ділянка автомобільної дороги характеризується наявністю мосту над річкою Мжа, русло якої техногенно змінене, з

метою зниження рівня паводкових вод та зменшення ризику підтоплення с.Павлівка, з розділенням русла на два водотоки та організованим відводом поверхневих стічних вод у відстійники-накопичувачі, що унеможливує пряме потрапляння забруднених стічних вод з полотна дороги безпосередньо у водні об'єкти.

За допомогою комплексної станції прямих вимірів було проведено оцінку динаміки стану забруднення повітряного середовища придорожного простору вибраної ділянки автомобільної дороги відповідно до інтенсивності руху транспортних засобів. На ділянках, де спостерігалась зміна стану атмосферного повітря відбирались проби ґрунту та рослинності (на відстані 10 м, 50 м та 100 м від полотна дороги). Контрольні зразки рослинності відбирались на відстані 450 м від полотна дороги.

Як вже згадувалось раніше, важкі метали є одними з найбільш небезпечних забруднювачів придорожного простору і джерелом можливого канцерогенного впливу на людину. Тому було вирішено оцінювати вплив на довкілля системи «автомобіль-дорога» за показниками вмісту важких металів у рослинах (у листі дерев та лікарських трав) та ґрунті придорожного простору методом атомно-абсорбційної спектроскопії на спектрометрі PlasmaQuant PQ 9000 Elite.

Для дослідження вибраної ділянки дороги відбирались типові для даної місцевості рослини, а саме: парило звичайне (eupatoria), береза бородавчаста (betula pendula), верба біла (salix alba), сосна звичайна (pinus sylvestris), деревій щетинистий (achillea setacea) та вільха клейка (alnus glutinosa).

Таблиця 4
Технічні характеристики вибраної ділянки дослідження автомобільної дороги М-29 Харків-Дніпро (20км – 22 км від перетину з М-03)*

Table 4
Technical characteristics of the selected section of the study of the highway M-29 Kharkiv-Dnipro (20 km - 22 km from the intersection with M-03)

Показник	Характеристика
Тип дороги	магістральна а/д
Тип покриття	асфальт
Ширина земляного полотна	26,5 м.
Ширина проїзної частини	16 м. (4 смуги руху)
Ширина центральної розділової смуги	8 м.
Ширина смуги для зупинки	2,5 м.
Інтенсивність руху	2 680 авт./добу
Склад руху:	
легкі вантажні автомобілі (до 2,5 т)	21,6 %,
середні вантажні автомобілі (до 5 т)	13,4 %,
важкі вантажні автомобілі (більше 8 т)	6,0%,
мікроавтобуси	17,2 %,
автобуси	1,5 %,
легкові автомобілі	40,3 %;
Середня швидкість руху	110 км/год

*Примітка: таблиця складена автором.

*Note: The table was developed by the author

Водночас з відбором зразків рослинності на тих самих ділянках було проведено відбір проб ґрунту методом «конверту» з шарів 0-5 см та 5-10 см.

Аналіз проведених лабораторних досліджень виявив накопичення в рослинності та ґрунті важких металів вище ГДК на відстані 10 м, 50 м та 100 м від полотна дороги:

осика звичайна – Mn, Co, Zn, Cr;
верба біла – Cu, Mn, Co, Cd, Cr;
деревій щетинистий – Cu, Mn, Cr;
парило звичайне, сосна звичайна, береза бородавчаста та вільха клейка – Mn, Cr.

Встановлено перевищення ГДК також і в зразках ґрунту за Cu, Mn, Cd, Cr, Ni та Pb [4, 26, 11-13].

Діапазон перевищень ГДК для різних хімічних речовин у різних рослинах та ґрунті різний, зокрема:

Cu (1,3 ГДК – 1,5 ГДК); Mn (1,3 ГДК – 3,6 ГДК); Co (1,1 ГДК – 1,9 ГДК); Cd (1,3 ГДК – 2,5 ГДК); Cr (2,3 ГДК – 4,3 ГДК); Zn (не більше 1,3 ГДК);

Pb (1,3 ГДК – 2,7 ГДК); Ni (1,1 ГДК-2,4 ГДК).

Після опрацювання лабораторних досліджень, за інтенсивністю накопичення важких металів у досліджуваних зразках рослинності та ґрунту придорожного простору було встановлено рангові ряди (табл.5).

Таблиця 5

Ранговий ряд накопичення важких металів у рослинності та ґрунті придорожного простору*

Table 5

Range of accumulation of heavy metals in vegetation and soil of roadside space

Зразок рослинності/ґрунту	Ранговий ряд
Береза бородавчаста	Mn > Fe > Zn > Cu > Cr > Ni > Cd > Pb > Co
Сосна звичайна	Mn > Fe > Zn > Cu > Cr > Ni > Cd > Pb > Co
Парило звичайне	Fe > Mn > Zn > Cu > Cr > Ni > Pb > Cd > Co
Вільха клейка	Fe > Mn > Zn > Cu > Cr > Ni > Pb > Cd > Co
Деревій щетинистий	Fe > Mn > Zn > Cu > Cr > Ni > Pb > Cd > Co
Верба біла	Fe > Zn > Mn > Cu > Ni > Cr > Co > Cd > Pb
Осика звичайна	Zn > Mn > Fe > Cu > Ni > Cr > Co > Cd > Pb
Ґрунт	Fe > Mn > Cr > Zn > Cu > Ni > Co > Pb > Cd

*Примітка: Таблицю складено автором на підставі власних досліджень, що корелює з аналогічними дослідженнями [18-21]. Рангові ряди встановлювалися за І. М. Волошиним (1998).

*Note: The table was developed by the author based on own researches; it correlates with data from researches [18-21]. Rank rows were compiled according to I.M.Voloshyn (1998)

Зразки рослин відбирались на протязі вегетаційного періоду, тому рангові ряди вказують на кількість накопичення важких металів за весь період їх життя. З таблиці видно, що у зразках придорожньої рослинності переважає накопичення Mn, Fe та Zn, а найменшу інтенсивність накопичення має Co, а у верби білої та осики звичайної менш інтенсивно накопичується Pb. У ґрунті придо-

рожнього простору серед важких металів найбільшу інтенсивність накопичення має Fe, а найменшу Cd.

Аналіз отриманих результатів корелює зі схожими результатами попередніх досліджень інших дослідників, що займалися даною тематикою, зокрема [18-21] в частині вибору рослин-акумуляторів та послідовності і кількості накопичення важких металів.

Висновки

Сучасні темпи розвитку транспортно-дорожного комплексу призводять до збільшення навантаження на природні системи і як наслідок до погіршення екологічного стану в країні. Дослідження виявлення та міграції важких металів від викидів транспортних засобів та їх кумуляція елементах харчових ланцюгів створює небезпеку для здоров'я людини та навколишнього природного середовища в цілому. Актуальність здійснення комплексного моніторингу екологічного стану навколишнього середовища в зоні впливу автомобільних доріг беззаперечна, при цьому невід'ємною складовою має бути дослідження вмісту важких металів у складових придорожного простору.

За результатами проведеної комплексної експертно-аналітичної оцінки ієрархічної

структури впливів від діяльності системи «АДС» на складові навколишнього природного середовища встановлено, що 43,5 % від загального впливу може спрямовуватись на живі організми придорожного простору. Отримані значення вагових коефіцієнтів дозволили зробити висновок щодо необхідності врахування біотичної складової придорожного простору при дослідженні впливу діяльності автомобільної дороги на довкілля.

Опрацювавши та проаналізувавши дані лабораторних досліджень ми виявили, що у зразках рослинності та ґрунту придорожного простору, відібраних навесні та влітку, спостерігається тенденція до зменшення вмісту важких металів відповідно до збільшення відстані від полотна дороги до точки відбору проби. У зразках, що були

відібрані восени, виявлено тенденцію до збільшення накопичення важких металів, що свідчить про збільшення переносу забруднюючих речовин на більші відстані від

дороги у зв'язку зі зрідженням крони дерев та кущів, а також про акумуляцію забруднюючих речовин впродовж усього вегетаційного періоду рослин.

Конфлікт інтересів

Автор заявляє, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автор повністю дотримувався етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Список використаної літератури

1. Чернишова О., Петренко І., Вишебаба П. Еколого-транспортні проблеми сучасної України. МЦПД. 2020. 26 с.
2. В Україні посчитали середній вік автопарка по всім сегментам. URL: <https://autoconsulting.com.ua/news.php?catid=41>
3. Павлова Е.И., Новиков В.К. Общая экология и экология транспорта. Учебник и практикум. 5-е издание. Изд-во Юрайт. 2018. 480 с.
4. Адамова Г.В., Пісня Л.А. Визначення впливу транспортно-дорожнього комплексу на довкілля на прикладі ділянки автомобільної дороги М-29 Харків-Дніпро. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*. Зб. наук. пр. УКРНДІЕП; ХНУ імені В. Н. Каразіна. Х.: ПП «Стиль-Іздат». 2020. Вип. 42. 214 с. URL: <http://www.niiep.kharkov.ua/sites/default/files/Sbornik2020.pdf>
5. Статистичний щорічник України за 2019 рік. Державна служба статистики України – Вернер І. Є. (за редакцією), Київ, 2020. 465 с.
6. Україна у цифрах у 2019 році/ Державна служба статистики України// Статистичний збірник - Вернер І. Є. (за редакцією), Київ, 2020. 44 с.
7. Державне агенство автомобільних доріг України. URL: <https://ukravtodor.gov.ua/>
8. Перелік державних автомобільних доріг Харківської області. URL: https://kh.ukravtodor.gov.ua/pro_sluzhbu/perelik_derzhavnnykh_avtomobilnykh_dorih_kharkivskoi_oblasti.html
9. Зрозуміла інфографіка класифікації доріг Харківської області. URL: https://kh.ukravtodor.gov.ua/pro_sluzhbu/zrozumila_infografika_klasyfikatsii_dorih_kharkivskoi_oblasti.html
10. Аболмасова Г. В., Пісня Л.А., Черба О.В. (вересень. 9-13. 2019). Елементи інтегрального підходу в екологічній оцінці стану забрудненості придорожного простору. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*. матеріали XV міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків. УКРНДІЕП. ПП «Стиль-Іздат». 2019. С.5-8. URL: <http://www.niiep.kharkov.ua/sites/default/files/Konfer2019.pdf>
11. Адамова Г.В. Аналіз впливу системи «автомобіль-дорога-середовище» на об'єкти навколишнього природного середовища. *The current state of development of world science: characteristics and features*. Collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the I International Scientific and Theoretical Conference. 2021. (Vol. 1),. Lisbon, Portuguese Republic: European Scientific Platform. DOI: <https://doi.org/10.36074/scienta-04.06.2021>.
12. Аболмасова Г.В., Пісня Л.А. Важкі метали у ґрунтах та рослинності придорожного простору. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*: зб. наук, статей XVI Міжнародної науково-практичної конференції. (м. Харків, 14-18 вересня 2020 р.) Харків. УКРНДІЕП. ПП «Стиль-Іздат», 2020. С.13-17. URL: <http://www.niiep.kharkov.ua/sites/default/files/konfer2020.pdf>
13. Аболмасова Г.В. Система «автомобіль-дорога» як джерело надходження важких металів у придорожній простір. *Збірник тез доповідей IV Спеціалізованого міжнародного Запорізького екологічного форуму «ЕКО ФОРУМ - 2020»*. (Запоріжжя, 14-18 вересня 2020 р.). Запорізька міська рада, Запорізька торгово-промислова палата, 2020. URL: <https://new.ziif.in.ua/wp-content/uploads/2020/12/Zbirka-tez-Eko-Forum-2020.pdf>
14. Оцінка впливу на навколишнє середовище Капітальний ремонт автомобільної дороги під'їзд до ДП МА «Бориспіль» км 0+000 – км2+800 (інв. №47590) з системою освітлення (інв №47273) (коригування). *РОБОЧИЙ ПРОЕКТ*. ТОМ 5. 37-14.2/5-3-ОВНС. ТОВ «ІНТЕРПРОЕКТ». 2017. 51 с.
15. Коваленко Л.О. Аналіз моніторингу забруднення атмосферного повітря. *Науково-технічний збірник «Проблеми розвитку міського середовища»*. К: Національний авіаційний університет. 2016. Вип.2 (16). С. 168-177. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Prms_2016_2_21
16. Денисов В.В. Экология города. Учебное пособие – под ред. проф. В.В. Денисова. М.: «Феникс», Ростов н/Д. 2015. 568 с.
17. Пепина Л.А., Созонтова А.Н., Загрязнение атмосферного воздуха автомобильно-дорожным комплексом. *Alfabuild*. 2017. №1 (1). С. 99-110. URL: https://alfabuild.spbstu.ru/userfiles/files/AlfaBuild/AlfaBuild_2017_1/8_1.pdf

18. Rolli N.M., Hiremath P.S., Karalatti, B.I., Hotti Y.B. & Kattimani V.K. Phytoassay of Heavy Metals Pollution in Roadside Environment: Bioindicators. *Int J Recent Sci Res.* 2019. Vol.10. No 12. P. 36499-36503. DOI: <http://dx.doi.org/10.24327/ijrsr.2020.1012.4934>.
 19. Pankaj Kumar & Kuldeep. Potential Toxic Heavy Metal Contamination of Roadside Soil. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.* 2018. Vol. 7. No 7: 465-471. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijemas.2018.707.056>
 20. Леонидова Т. В., Сидоренкова Н. К., Блохина Н. А., Харитонов И. Д. Содержание тяжелых металлов в придорожной зоне автомобильных трасс. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований.* 2019. № 1. С. 146–149. URL: <https://www.applied-research.ru/ru/article/view?id=12657>
 21. Hyun-Min Hwang, Matthew J. Fiala, Terry L. Wade & Dongjoo Park. Review of pollutants in urban road dust: Part II. Organic contaminants from vehicles and road management. *International Journal of Urban Sciences.* Vol. 23. 2019. No 4. P. 445-463. DOI <https://doi.org/10.1080/12265934.2018.1538811>
 22. Мостепан О.В. Дослідження впливу зливових вод з автомобільних доріг з різною інтенсивністю руху на забруднення водних об'єктів. *Вестник ХНАДУ.* 2011. № 52. С. 23–26. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vliyaniya-livnevyyh-vod-s-avtomobilnyh-dorog-s-raznoy-intensivnostyu-dvizheniya-na-zagryaznenie-vodnyh-obektov/viewer>
 23. Матейчик В.П., Вайганг Г.О., Яновський В.В. Оцінка параметричного забруднення придорожного середовища міськими транспортними потоками. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки».* 2016. Вип. 2 (35). С.141-150. URL: http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/35_2016/141-150.pdf
 24. Зеркалов Д.В. Екологічна безпека та охорона довкілля: Монографія. К.: Основа, 2012. 514 с.
 25. Sanja Grubesa and Mia Suhanek (June 18th 2020). Traffic Noise, Noise and Environment, Daniela Siano and Alice Elizabeth González, IntechOpen, DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.9289>
 26. Аболмасова Г.В., Пісня Л.А., Черепньов І.А., Калінін І.В. Комплексна екологічна оцінка впливу системи «автомобіль-дорога-середовище» на об'єкти навколишнього природного середовища. *Науковий Журнал "Інженерія природокористування".* X. 2019. №4(14). С.75-85. URL: <http://enm.khntusg.com.ua/index.php/enm/issue/view/24>
 27. Кравченко Т.К., Середенко Н.Н., Создание систем поддержки принятия решений: интеграция преимуществ отдельных подходов. *Искусственный интеллект и принятие решений.* М.: Изд-во Институт системного анализа РАН. 2012. № 1. С. 39-46. URL: http://www.isa.ru/aidt/images/documents/2012-01/39_46.pdf
 28. Named Taherdoost. Decision Making Using the Analytic Hierarchy Process (AHP); A Step by Step Approach. *International Journal of Economics and Management System, IARAS,* 2017. HAL Id: hal-02557320 URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02557320>
- Стаття надійшла до редакції 02.08.2021 Переглянуто 28.09.2021
Стаття рекомендована до друку 12.10.2021

G. V. ADAMOVA

Graduate Student of the Laboratory of Environmental Impact Assessment
and Environmental Expertise

e-mail: abolmasova@niiep.kharkov.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2560-1032>
Scientific Research Institution "Ukrainian Scientific Research Institute of Ecological Problems",
Bakulina Str., 6, Kharkiv, 61166, Ukraine

COMPREHENSIVE ECOLOGICAL AND ANALYTICAL ASSESSMENT OF THE "CAR-ROAD-ENVIRONMENT" SYSTEM ON THE EXAMPLE OF THE ROAD M-29 SECTION

Purpose. is to highlight the methodological approach and the results of the integrated ecological and analytical assessment of the environmental impact of the car-road-environment system, namely the structure of interaction between internal and external factors and their spatial analysis, including the actual assessment of the ecological state of the roadside space of a selected section of the road M-29 (E-105) on the example of accumulation in the biota of roadside space heavy metals of road origin.

Methods. Expert analytical analysis, T. Saati's hierarchy analysis method, field studies of vegetation and soil, laboratory studies of the content of heavy metals in selected samples by atomic absorption spectroscopy.

Results. Analysis of the complex impact of the "car-road-environment" (CRE) system on the state of the natural environment made it possible to develop a comprehensive multi-level hierarchical structure of the influence of the "CRE" system on environmental components for subsequent environmental and analytical assessment. According to the results of the environmental-analytical assessment, it was determined that the components of the natural environment are significantly affected by the "CRE" system, with living organisms of roadside space being the most stressed (43,08% of the total impact). When carrying out field studies, it was found out that it is advisable to use direct measurements when choosing the information content of soil and vegetation sampling points. After processing laboratory studies, an excess of the MPC of heavy metals was revealed in the samples of vegetation

and soil of the roadside space at a distance of 10 m, 50 m and 100 m from the road bed, a rank series of accumulation of heavy metals in the studied samples of vegetation and soil of the roadside space was established.

Conclusions. As a result of research, it was found that the complexity of the impact of the "CRE" system on the environment in a significant way depends on the biotic component of the roadside space, which, as a rule, until that time received little attention. It was concluded that the biota of the roadside space is not only susceptible to accumulation of pollutants, including heavy metals, but can be used for effective integrated monitoring of the ecological state of the environment in the zone of influence of roads.

KEYWORDS: expert-analytical assessment, hierarchy analysis method, roadside soil, roadside vegetation, heavy metals

References

1. Chernyshova, O., Petrenko, I., & Vyshebaba P. (2020). Ecological and transport problems of modern Ukraine. *ICPS*. (in Ukrainian)
2. In Ukraine, the average age of the fleet in all segments was calculated. Retrieved from <https://autoconsulting.com.ua/news.php?catid=41> (in Russian)
3. Pavlova, E.I., & Novikov, V.K. (2018). General ecology and ecology of transport. Textbook and workshop. 5th edition. Urayt Publishing House. (in Russian)
4. Adamova H.V., & Pisia L.A. (2020). Determining the impact of the transport and road complex on the environment on the example of the section of the highway M-29 Kharkiv-Dnipro. *Problems of environmental protection and ecological safety. Collection of scientific works of USRIEP. V. N. Karazin Kharkiv national university*. (42), 214 . Retrieved from <http://www.nieep.kharkov.ua/sites/default/files/Sbornik2020.pdf> (in Ukrainian)
5. Werner, I.E. (Ed.). (2020). Statistical Yearbook of Ukraine for 2019. *State Statistics Service of Ukraine*. (in Ukrainian)
6. Werner, I.E. (Ed.). (2020). Ukraine in figures in 2019. *State Statistics Service of Ukraine. Statistical Collection..* (in Ukrainian)
7. State Agency of Motor Roads of Ukraine. Retrieved from <https://ukravtodor.gov.ua/> (in Ukrainian)
8. List of state highways of Kharkiv region. Retrieved from https://kh.ukravtodor.gov.ua/pro_sluzhbu/pere-lik_derzhavnykh_avtomobilnykh_dorih_kharkivskoi_oblasti.html (in Ukrainian)
9. Clear infographics of the classification of roads in the Kharkiv region. Retrieved from https://kh.ukravtodor.gov.ua/pro_sluzhbu/zrozumila_infografika_klasyfikatsii_dorih_kharkivskoi_oblasti.html (in Ukrainian)
10. Abolmasova, H. V., Pisia, L.A., & Cherba, O.V. (2019). Elements of an integrated approach in the environmental assessment of roadside pollution. *Proceedings of the XV International. scientific-practical conf.: Environmental safety: problems and solutions*. Kharkiv, (2019, Sept. pp. 9-13). *USRIEP. 5-8*. Retrieved from <http://www.nieep.kharkov.ua/sites/default/files/Konfer2019.pdf> (in Ukrainian)
11. Adamova, H.V. (2021). Analysis of the impact of the "car-road-environment" system on the environment. *The current state of development of world science: characteristics and features. Collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the I International Scientific and Theoretical Conference (Vol. 1), Lisbon (2021, June 4), Portuguese Republic: European Scientific Platform*. <https://doi.org/10.36074/scienta-04.06.2021> (in Ukrainian)
12. Abolmasova, H.V., & Pisia, L.A. (2020). Heavy metals in the soils and vegetation of the roadside. *Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference: Environmental safety: problems and solutions*. (Kharkiv, 2020, September 14-18), *USRIEP. 13-17*. Retrieved from <http://www.nieep.kharkov.ua/sites/default/files/konfer2020.pdf> (in Ukrainian)
13. Abolmasova, H.V. (2020). The "car-road" system as a source of heavy metals in the roadside space. *Collection of abstracts of the IV Specialized International Zaporizhia Ecological Forum "ECO FORUM - 2020" Zaporizhia City Council, Zaporizhia Chamber of Commerce and Industry,*(Zaporizhia, 2020, October 15-17). Retrieved from <https://new.ziif.in.ua/wp-content/uploads/2020/12/Zbirka-tez-Eko-Forum-2020.pdf> (in Ukrainian)
14. Environmental Impact Assessment Overhaul of the highway entrance to Boryspil International Airport km 0 + 000 - km2 + 800 (inv. №47590) with lighting system (inv №47273) (adjustment). (2017). *WORKING PROJECT. VOLUME 5. 37-14.2 / 5-3-OVNS. LLC "INTERPROEKT"*. (in Ukrainian)
15. Kovalenko L.O. (2016). Analysis of air pollution monitoring. *Scientific and technical collection "Problems of urban environment development"*, (2(16), 168-177. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Prms_2016_2_21 (in Ukrainian)
16. Denisov, V.V. (2015). Ecology of the city. Rostov n/D. (in Russian)
17. Pepina, L.A., & Sozontova, A.N. (2017). Pollution of atmospheric air by the road complex. *Alfabuild , 1 (1), 99-110*. Retrieved from https://alfabuild.spbstu.ru/userfiles/files/AlfaBuild/AlfaBuild_2017_1/8_1.pdf (in Russian)
18. Rolli, N.M, Hiremath, P.S, Karalatti, B.I, Hotti, Y.B & Kattimani, V.K (2019). Phytoassay of Heavy Metals Pollution in Roadside Environment: Bioindicators. *Int J Recent Sci Res.*, 10(12), 36499-36503. <http://dx.doi.org/10.24327/ijrsr.2020.1012.4934>
19. Pankaj, Kumar & Kuldeep. (2018). Potential Toxic Heavy Metal Contamination of Roadside Soil. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.* 7(07), 465-471. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.707.056>
20. Leonidova, T. V., Sidorenkova, N. K., Bloxina, N. A., & Xaritonov, I. D. (2019). Content of heavy metals in the roadside zone of automobile routes. *International Journal of Applied and Basic Research*, (1), 146-149. Retrieved from <https://www.applied-research.ru/ru/article/view?id=12657>

21. Hyun-Min Hwang, Matthew, J. Fiala, Terry, L. Wade & Dongjoo Park. (2019). Review of pollutants in urban road dust: Part II. Organic contaminants from vehicles and road management. *International Journal of Urban Sciences*, 23(4), 445-463. <https://doi.org/10.1080/12265934.2018.1538811>
22. Mostepan, O.V. (2011). Investigation of the impact of stormwater from highways with different traffic intensity on water pollution. *Bulletin of Kharkiv National Automobile and Road University*, (52), 23–26. Retrieved from: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vliyaniya-livnevnyh-vod-s-avtomobilnyh-dorog-s-raznoy-intensivnostyu-dvizheniya-na-zagryaznenie-vodnyh-obektov/viewer> (in Ukrainian)
23. Mateichyk, V.P., Vaihanh, H.O., & Yanovskyi, V.V. (2016). Estimation of parametric pollution of the roadside environment by urban traffic flows. *Bulletin of the National Transport University. "Technical Sciences" series. Scientific and technical collection*, 2(35), 141-150. Retrieved from http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/35_2016/141-150.pdf (in Ukrainian)
24. Zerkalov, D.V. (2012). Ecological safety and environmental protection: *Monograph. K.: Osnova*, (in Ukrainian)
25. Grubesa, S. & Suhanek, M. (2020). Traffic Noise, Noise and Environment, Daniela Siano and Alice Elizabeth González, IntechOpen, <https://doi.org/10.5772/intechopen.92892>
26. Abolmasova, H.V., Pisia, L.A., Cherepnov, I.A., & Kalinin, I.V. (2019). Comprehensive environmental assessment of the impact of the car-road-environment system on the environment. *Scientific Journal "Environmental Engineering"*, 4(14), 75-85. Retrieved from <http://enm.khntusg.com.ua/index.php/enm/issue/view/24> (in Ukrainian)
27. Kravchenko, T.K., & Seredenko, N.N. (2012). Creating decision support systems: integrating the benefits of individual approaches. *Artificial intelligence and decision making. M.: Publishing House of the Institute of System Analysis of the Russian Academy of Sciences*, (1), 39-46. Retrieved from http://www.isa.ru/aidt/images/documents/2012-01/39_46.pdf (in Russian)
28. Named Taherdoost. (2017). Decision Making Using the Analytic Hierarchy Process (AHP); A Step by Step Approach. *International Journal of Economics and Management System, IARAS*, HAL Id: hal-02557320 Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02557320>

The article was received by the editors 30.06.2021

The article is recommended for printing 12.10.2021

А. В. АДАМОВА

аспирантка лабораторії оцінки впливу на оточуючу середу
і екологічної експертизи

e-mail: abolmasova@niiep.kharkov.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2560-1032>

Научно-дослідницьке університетське заклад «Український науково-дослідницький інститут
екологічних проблем», ул.Бакуліна,6, г. Харків, 61166, Україна

КОМПЛЕКСНАЯ ЭКОЛОГО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СИСТЕМЫ «АВТОМОБИЛЬ-ДОРОГА-СРЕДА» НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА ДОРОГИ М-29

Цель. Представить методический подход и результаты комплексной эколого-аналитической оценки воздействия на окружающую среду системы «автомобиль-дорога-среда».

Методы. Экспертно-аналитический анализ, метод анализа иерархий Т.Саати, полевые, метод атомно-абсорбционной спектроскопии.

Результаты. Анализ комплексного воздействия системы «автомобиль-дорога-среда» (АДС) на состояние окружающей природной среды позволил разработать комплексную многоуровневую иерархическую структуру влияния системы «АДС» на составляющие окружающей среды для последующего проведения эколого-аналитической оценки. По результатам эколого-аналитической оценки определено, что элементы окружающей среды подвергаются значительному воздействию со стороны деятельности системы «АДС», причем больше всего живые организмы в придорожном пространстве (43,08% от общего воздействия). Установлено, что целесообразно применять прямые измерения при выборе информативности точек отбора проб почвы и растительности. Выявлено превышение ПДК тяжелых металлов в образцах растительности и почвы придорожного пространства на расстоянии 10 м, 50 м и 100 м от полотна дороги, установлено ранговый ряд накопления тяжелых металлов в исследуемых образцах растительности и почвы придорожного пространства.

Выводы. Комплексность воздействия системы «АДС» на окружающую среду существенно зависит от биотической составляющей придорожного пространства. Биота придорожного пространства не только склонна к кумуляции загрязняющих веществ, в том числе тяжелых металлов, но и может использоваться для эффективного комплексного мониторинга экологического состояния окружающей среды в зоне влияния автомобильных дорог.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: экспертно-аналитическая оценка, метод анализа иерархий, придорожная почва, придорожная растительность, тяжелые металлы

Статья поступила в редакцию 02.08.2021

Статья рекомендована к печати 12.10.2021

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-06>

УДК (UDC): 621.311.22:504.054

О. В. КРАЙНЮК¹, канд. техн. наук, доц.,
доцент кафедри метрології та безпеки життєдіяльності
e-mail: alenuvarova@ukr.net ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-9524-040X>
¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет
вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, 61000, Україна

Ю. В. БУЦ², д-р техн. наук, проф.,
завідувач кафедри технологій та безпеки життєдіяльності
e-mail: butsyura@ukr.net ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0450-2617>
²Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця
проспект Науки, 9А, Харків, 61000, Україна

Р. В. ПОНОМАРЕНКО³, д-р техн. наук, старший науковий співробітник,
заступник начальника кафедри пожежної та рятувальної підготовки
e-mail: prv@nuczu.edu.ua ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8445-8251>
³Національний університет цивільного захисту України
вул. Чернишевська, 94, Харків, 61023, Україна

В. В. БАРБАШИН⁴, канд. техн. наук, доц.,
доцент кафедри охорони праці та безпеки життєдіяльності
e-mail: barbachyn@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3262-8305>
⁴Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002, Україна

П. І. ЛОЦМАН⁵, канд. геогр. наук, доц.
e-mail: yurii.buts@hneu.net ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9894-5728>
доцент кафедри кафедри суспільно-економічних дисциплін і географії
⁵Харківський національний педагогічний університет імені Г.С. Сковороди
вул. Валентинівська, 2, Харків, 61168, Україна

ТЕХНОГЕННИЙ ВПЛИВ СКЛАДУ ЗОЛОШЛАКОВИХ ВІДХОДІВ ЗМІЙВСЬКОЇ ТЕПЛОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ НА ПЕДОСФЕРУ

Мета: Аналіз геохімічного складу золо-шлакових відходів Зміївської ТЕС та виявлення особливостей міграції важких металів від місця складування золошлакових відходів у екосистему.

Методи. Вміст важких металів у золі, золошлаках і ґрунті досліджено за допомогою атомно-абсорбційного аналізу на спектрофотометрі С-115. Для визначення складу твердої неорганічної частини золошлаку проведено рентгенофазовий аналіз.

Результати. Золо-шлаки Зміївської ТЕС містять Cu, Cr, As, Cd, Ni, Pb у кількостях, що в декілька разів перевищують ГДК. Для золо-шлакових відходів сумарний показник забруднення становить $Z_c = 43$, що відповідає високому рівню. Тобто цей штучно створений горизонт є небезпечним. Важкі метали (ВМ) мігрують у підземні води і у ґрунти поряд з золовідвалом за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, викиди з водопровідних комунікацій, фільтрації вод через основу золовідвалу Зміївської ТЕС. Для визначення забруднення ґрунтів поблизу золовідвалу здійснено аналізи ґрунту на відстані 0...100 метрів. Встановлено зменшення концентрації ВМ у ґрунті з відстанню від золошлаковідвалу. На відстані до 100 метрів від відвалу спостерігається перевищення ГДК у ґрунті за вмістом Ni, Cu, As, Cr. Коефіцієнт концентрації перевищує одиницю для Cr, As, Cu, Cd, Ni. Лише на відстані понад 100 метрів вміст Pb та Zn досягає фонових значень. Розрахунок сумарного показника забруднення ґрунтів дозволяє віднести дані ґрунти до помірно небезпечних та допустимих. Однак, є декілька суттєвих недоліків у показника Z_c . Насамперед, він не враховує відмінностей потенційної небезпеки хімічних елементів, а також, що найбільш важливо, синергетичні ефекти поліметалічного забруднення. Коефіцієнт синергетичного впливу важких металів становить 26,64 (у ґрунті золовідвалу), далі зменшується, але навіть на відстані 100 метрів становить 11,23, тобто на відстані 0...100 м від золошлаковідвалу не виконується умова не перевищення коефіцієнту сумарної дії одиниці. Встановлено, що Cu, Ni, Zn і Cr характеризуються низькою рухливістю у ґрунті поблизу золовідвалу, через що вони акумулюються в екосистемі поряд з золовідвалом, що пояснюється нейтральними і слабо-лужними значеннями рН ґрунту (рН=8,0...8,5). Співвідношення мінеральних фаз і скла нестійке, проте слід зазначити переважання у золо-шлаку алюмосилікатів, силікатів кальцію і скла. Сполуки ВМ приуро

© Крайнюк О. В., Буц Ю. В., Пономаренко Р. В., Барбашин В. В., Лоцман П. І., 2021



This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

чені в основному до аморфізованих глинистих агрегатів і сажисто-вуглецевим утворенням золи, в меншій мірі до шлакового скла та ще менше до зерен кварцового піску.

Висновки. Оскільки золошлак містить такі фракції, що можуть легко розноситися вітром, слід припустити, що надходження ВМ у екосистему відбувається і повітряним шляхом, що також сприяє забрудненню атмосферного повітря. Вирішення проблеми утилізації золошлакових відходів слід віднайти у виробництві будівельних матеріалів, у дорожньому будівництві, але необхідно вивчати склад золошлаків і вірогідність міграції ВМ залежно від умов використання.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: геоекологічний аналіз, золошлакові відходи, важкі метали, техногенне навантаження, забруднення екосистеми

Як цитувати: Крайнюк О. В., Буц Ю. В., Пономаренко Р. В., Барбашин В. В., Лоцман П. І. Техногенний вплив складу золошлакових відходів Зміївської теплоелектростанції на педосферу. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2021. Вип. 25. С. 70-80. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-06>

In cites: Krainyuk, O. V., Buts, Y. V., Ponomarenko, R. V., Barbachin, V. V., & Lotsman, P. I. (2021). Technogenic influence of the composition of ash waste from the Zmiiv power plant on the pedosphere. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Ecology»*, (25), 70-80. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-06>

Вступ

При роботі ТЕС утворюються золошлаки (важка фракція) і зола (летюча фракція). Відходи найчастіше складаються під відкритим небом. Піддаючись дії атмосферних опадів, компоненти золошлакових відходів здатні мігрувати у навколишнє природне середовище, насамперед у педосферу.

Золовідвали займають величезні площі, здійснюючи негативний вплив на довкілля. Чимало наукових робіт присвячено вивченню небезпеки золошлакових відходів, причому думки розділяються. Ряд дослідників вказують на невисоку небезпеку таких відходів та можливість використання золошлаків у виробництві будівельних матеріалів, у дорожньому будівництві, що може економити сировину, навіть у якості добрив [1]. Інші ж дослідники, приходять до висновку про забруднення навколишнього природного середовища золошлаковими відходами ТЕС [2]. У золі-винесення і золошлаках присутні As, Pb, Cr, Cu, Ni, Co, V, Cd,

Zn, Se, Mn, Fe, K, Ba, Na, Ca, Mg, Be, F [3], які можуть бути небезпечними для здоров'я людей [4, 5]. Є дослідження, що підтверджують суттєве забруднення ґрунтів Ni, Cr і Hg поблизу розташування золошлаковідвалів [6].

У ряді європейських країн золошлакові відходи переробляються, наприклад, у Данії і Німеччині ефективно використовують золошлаки для виробництва будматеріалів. При цьому частка перероблених золошлаків наближається до 100%. Наприклад, у Німеччині забороняється складувати золошлакові відходи. У Польщі, Китаї і США переробляється близько 60% утворених золошлаків [7].

Для забезпечення потреб промисловості і населення потрібні чималі запаси електроенергії. Так, наприклад, вироблення електроенергії в Україні у 2019 році склало 141,2 млрд кВт на рік, причому понад третину цієї енергії отримано за допомогою ТЕС і ТЕЦ (рис. 1) [8].

При виробленні теплової енергії теплова

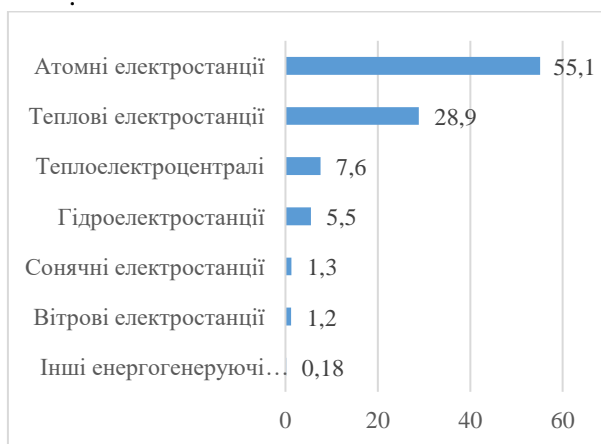


Рис. 1 – Обсяг виробленої електричної енергії, % від загальної кількості [8]

Fig. 1 – The amount of electricity produced, % of the total amount [8]

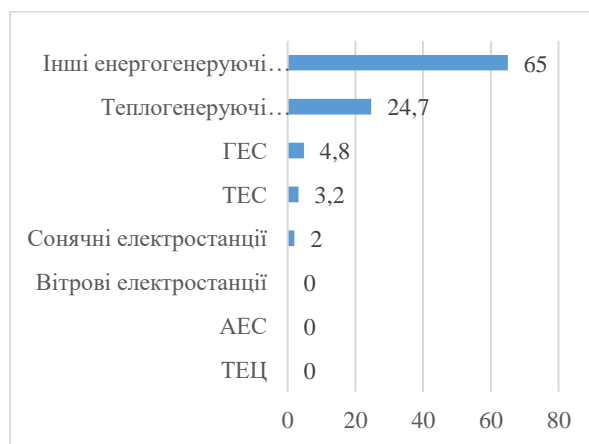


Рис. 2 – Обсяг виробленої теплової енергії, % від загальної кількості [8]

Fig. 2 – The amount of heat produced, % of the total amount [8]

потужність складала 129045 Гкал/рік, основним постачальником теплоенергії стали теплогенеруючі установки, котельні, ТЕС і ТЕЦ (рис. 2), при роботі яких утворюються золи і золошлакові відходи.

Найбільша кількість ТЕС розташована у східній частині України (рис. 3). Зміївська ТЕС відноситься до п'ятірки найбільших ТЕС, із потужністю більше 2000 МВт (рис. 3, 4).

Зміївська ТЕС є першочерговим забруднювачем Харківської області, її вплив оцінюється у 60% від загального забруднення області

[3]. ТЕС експлуатується з 1960 року, електрична потужність становить 2150 МВт. За рік ТЕС виробляє понад 18 млрд. кВт годин електроенергії. У якості палива Зміївська ТЕС використовує низькосортне вугілля із додаванням мазуту або газу Шебелинського родовища. Вихід золошлаків складає 1,2 млн. т/рік. Переробляється 200 тис. тонн, 1 млн. т. складається у відвалах. На даний час накопичено понад 30 млн. тонн золошлаків. Система золошлаковидалення гідравлічна.



1 – Зміївська, 2 – Слов'янська, 3 – Вуглегірська, 4 – Луганська, 5 – Зуєвська, 6 – Старобешівська, 7 – Курахівська, 8 – Придніпровська, 9 – Запорізька, 10 – Криворізька, 11 – Ладизинська, 12 – Трипільська, 13 – Добротвірська, 14 – Бурштинська

Рис. 3 – ТЕС на території України

1 – Zmiivska, 2 – Slovyanska, 3 – Vuhlehirska, 4 – Luhanska, 5 – Zuevska, 6 – Starobeshivska, 7 – Kurakhivska, 8 – Prydniprovska, 9 – Zaporizhzhya, 10 – Kryvyi Rih, 11 – Ladyzhynska, 12 – Trypilska, 13 – Dobrotvirska, 14 – Burshtynska

Fig. 3 – TPP on the territory of Ukraine

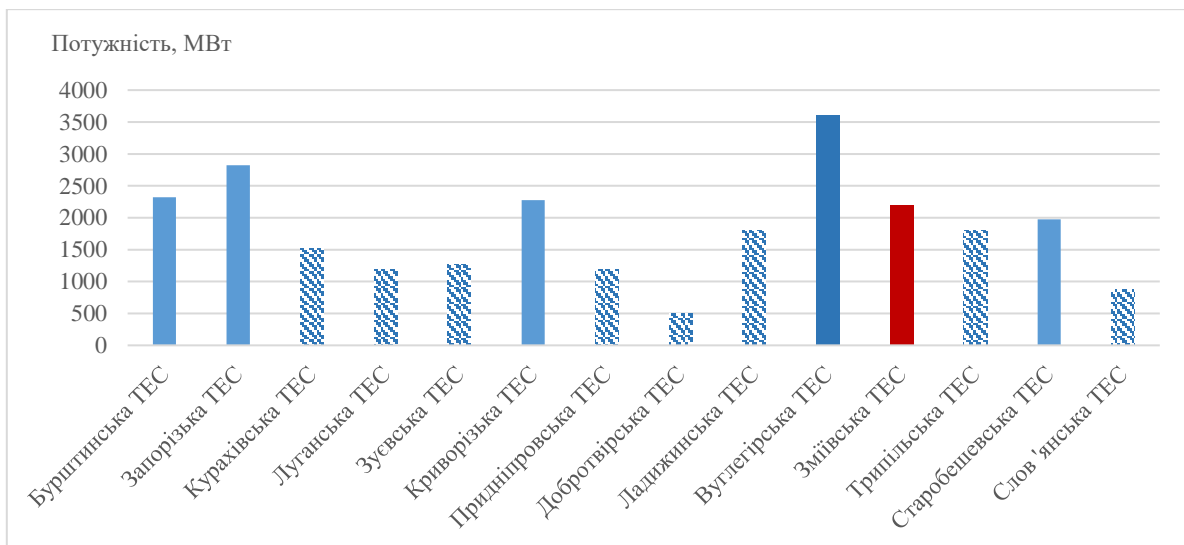


Рис. 4 – Потужність ТЕС України

Fig. 4 – Capacity of TPPs in Ukraine

Полігон золошлакових відходів Зміївської ТЕС займає площу понад 350 га (рис. 5). Золовідвал створює ряд екологічних проблем. Зола й золошлаки – це твердий незгорілий залишок твердого палива, який видаляється у золовідвал. Основну масу (96...98%) золошлакових відходів становлять оксиди – 45... 60%; CaO – 2,5...9,6%; MgO – 0,5...4,8%; Fe₂O₃ – 4,1-10,6%; Al₂O₃ – 10,1...21,8% і SO₃ – 0,03... 2,7%. Найважливішим компонентом в складі золошлаків є SiO₂ (понад 40%), разом з Al₂O₃ він бере участь в утворенні кальцієвих алюмосилікатів. Шлаки містять до 15-80% кристалічної фази, інше - важкорозчинні кварц, муліт,

гематит, магнетит тощо. [9]. Окрім цього, золошлаки містять Zn, Tl, Pb, Cr, Mn, Co, Ni, Hg, As, Sb, V, Sr, Ge, B, Be, F та ін. [3, 10, 11].

Золовідвал Зміївської ТЕС являє собою гідротехнічну споруду, що також позначається на довкіллі (рис. 6). Золовідвал Зміївської ТЕС впливає на рівень ґрунтових вод і хімічний склад в районі села Лиман, озер Лиман і Чайка. Для ТЕС і вугільних ТЕЦ розміщення відходів, а саме золошлаків, є актуальною екологічною проблемою.

Техногенне навантаження вимагає постійного контролю стану компонентів геологічного середовища, основними з яких є педосфера



Рис. 5 – Полігон золошлакових відходів Зміївської ТЕС

Fig. 5 – Site for Zmiiv TPP ash and slag wastes

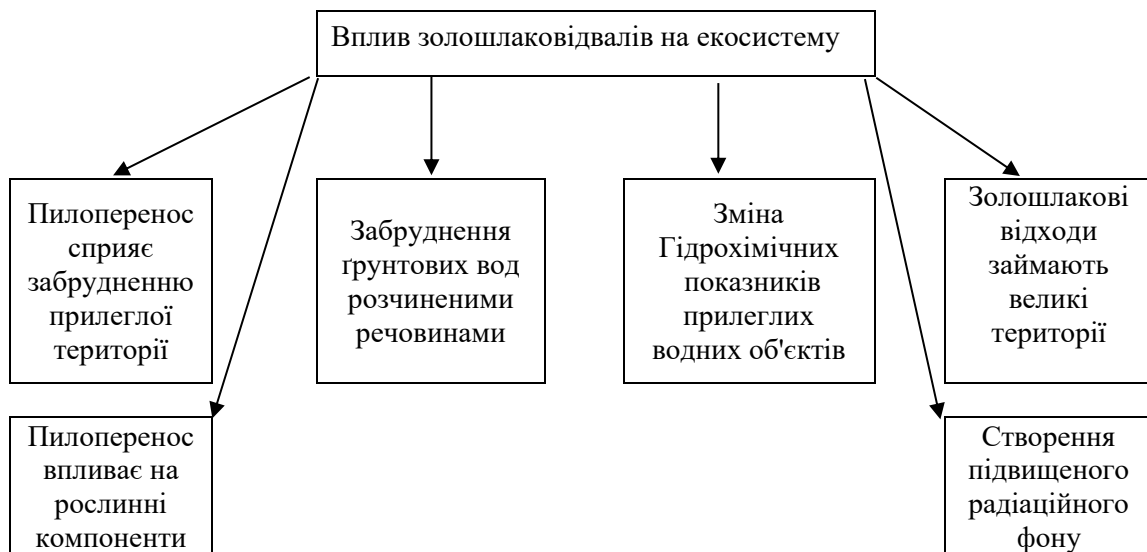


Рис. 6 – Вплив золошлаковідвалів і полігонів складування золошлаків ТЕС на навколишнє природне середовище

Fig. 6 – Influence of ash and slag dumps and ash storage sites of TPPs on the environment

і водоносні горизонти, оскільки від цього залежить доцільність і ефективність природоохоронних заходів. Тому визначення масштабів забруднення компонентів геологічного середовища, ідентифікація аномалій, виділення ореолів забруднення є сьогодні актуальними завданнями геолого-екологічних досліджень.

Мета – аналіз складу золошлакових

Об'єкти і методи досліджень

Вміст важких металів у золі, золошлаках і ґрунті було досліджено за допомогою атомно-абсорбційного аналізу (ААА) на спектрофотометрі С-115. Для даного методу нижня межа виявлення 0,2 мкг/мл екстракційного розчину. Визначенню не заважають присутні у зразку інші метали.

Для визначення складу твердої неорганічної частини золошлаку проведено рентгенофазовий аналіз. Дослідження виконувалися на рентгенівському дифрактометрі ДРОН-1,5

відходів Зміївської ТЕС та дослідження особливостей міграції важких металів від місця складування золошлакових відходів у компоненти екосистеми. Для досягнення встановленої мети було вирішено наступні завдання: проведення геохімічного аналізу золошлакових відходів Зміївської ТЕС; виявлення вірогідності міграції ВМ у ґрунт у місцях зберігання золошлакових відходів.

при режимах зйомки: напруга $U = 35\text{kV}$, сила анодного струму $I_{\text{анод}} = 20\text{ mA}$, швидкість обертання зразка 2 град/хв; швидкість руху стрічки самописця 600 мм/год. Застосовувався мідний електрод. Для виключення β -випромінювання зйомка виконувалася з використанням Ni фільтра методом дифракції порошоків. Спеціально підібрані режими зйомки дозволяли отримувати високу роздільну здатність, особливо при вивченні малих кількостей досліджуваних проб.

Результати дослідження

Вміст окремих важких металів, визначених методом ААА, представлено у табл. 1.

Незважаючи на те, що зразки проб містять Cu, Cr, As, Cd, Ni, Pb в концентраціях, що в декілька разів перевищують ГДК, хімічний аналіз інших зразків зол і золошлаків ТЕС свідчить, що ці значення можуть бути в десятки разів вищими. Так, наприклад, As у золах може бути до 58 мг/кг, Ni навіть до 56 г/кг, а Cr до 43 г/кг. У даних зразках, в порівнянні із золошлаками інших ТЕС, небагато Fe і Mn [9]. Встановлена кислотність водного середовища складала $\text{pH} = 8,8$.

Для розглянутих умов визначали коефіцієнт забруднення:

$$K = \frac{C_{\text{зразок}}}{\text{ГДК}} \quad (1)$$

де $C_{\text{зразок}}$ – фактична концентрація металу у

ґрунті (золошлаку).

Однак, оскільки у даному випадку K не враховує регіональні особливості вмісту ВМ, був розрахований коефіцієнт концентрації:

$$K_c = \frac{C_{\text{зразок}}}{C_{\text{ф}}} \quad (2)$$

де $C_{\text{ф}}$ – регіональний фоновий вміст елемента.

Забруднення зазвичай буває поліелементним, тому для його оцінки розраховували сумарний показник забруднення (Z_c), що відображає адитивну суму перевищень коефіцієнтів концентрацій над фоновим рівнем [12]. Сумарний показник забруднення (Z_c) визначали за формулою:

$$Z_c = \sum_1^n K_c - (n - 1) \quad (3)$$

n – число досліджуваних хімічних елементів.

Таблиця 1

Хімічний склад золошлаку Зміївської ТЕС (усереднені значення)

Table 1

Chemical composition of ash slag of Zmiiv TPP (average values)

Показник	Fe	Cu	Mn	Cr	As	Cd	Ni	Pb	Zn
Концентрація у золошлаку, С мг/кг	2800	55,4	34	16	27	0,8	135	16	12
Фоновий вміст, мг/кг	1510	5,7	792	1,7	1,5	0,3	14,4	13,9	18,7
ГДК, мг/кг		3	1500	6	2	3	4	30	23
Коефіцієнт забруднення, K		18,5	0	2,7	13,5	0,3	33,8	0,5	0,5
Коефіцієнт концентрації, K _c	1,9	9,7	0	9,4	18	2,7	9,4	1,2	0,6

Для золошлакових відходів сумарний показник забруднення становить $Z_c = 43$, що відповідає високому рівню. Тобто даний штучно створений горизонт є небезпечним.

Міграція елементів із золошлаку визначається властивостями порід, що залягають у основі золівідвалу. У межах золівідвалу в основі золошлакового шару залягають суглинки мулісти, але вони не забезпечують повну ізоляцію підземних вод від гідронамиву. Таким чином, ВМ мігрують у підземні води і у ґрунти поблизу золівідвалу за рахунок інфільтрації вод атмосферних опадів, витоків з водопровідних комунікацій, фільтрації вод через основу золівідвалу Зміївської ТЕС.

Для визначення забруднення ґрунтів біля золівідвалу зроблено аналізи ґрунту на відстані 0, 5, 10, 50 і 100 метрів.

Встановлено зниження концентрації ВМ у ґрунті з відстанню від золошлаковідвалу (рис. 7). На відстані до 100 метрів від відвалу спостерігається перевищення у ґрунті ГДК за вмістом Ni, Cu, As, Cr (рис. 8). Коефіцієнт концентрації перевищує одиницю для Cr, As, Cu, Cd, Ni. Лише на відстані 100 метрів концентрації Pb та Zn досягають фонових значень. Розрахунок

сумарного показника забруднення ґрунтів (рис. 9) дозволяє віднести дані ґрунти до помірно небезпечних та допустимих. Однак є кілька суттєвих недоліків у показника Z_c . Зокрема, він не враховує відмінностей потенційної небезпеки хімічних елементів, а також, що найважливіше, синергетичні ефекти поліметалічного забруднення. Коефіцієнт синергетичного впливу важких металів, який визначено за формулою:

$$\sum_1^n \frac{C_i}{ГДК_i} \leq 1, \quad (4)$$

становить 26,64 (у ґрунті золівідвалу), далі зменшується, але навіть на відстані 100 метрів становить 11,23, тобто на відстані 0...100 м від золошлаковідвалу не виконується умова не перевищення коефіцієнту сумарної дії одиниці. Петрографічним аналізом з використанням методу імерсійних препаратів встановлено наявність у золі слабо оплавлених зерен кварцу з характерними показниками заломлення. В периферії ізотропно з $N=1,470-1,490$, а в центральній частині аналогічно кварцу з $N_e=1,554$, $N_0=1,543$. Зустрічаються непрозорі бурі з напівметалевим блиском зерна гідроксидів заліза,

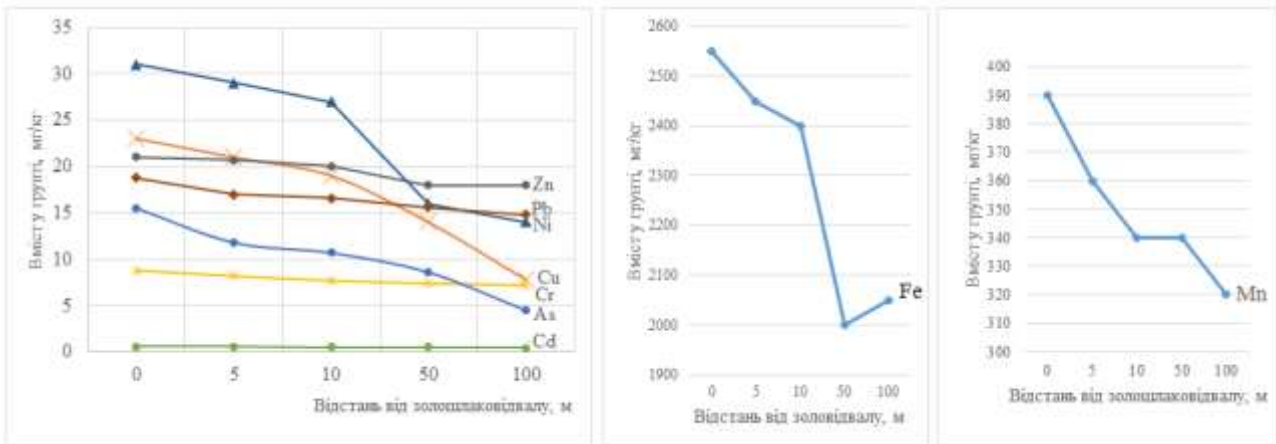


Рис. 7 – Залежність вмісту ВМ у ґрунті від відстані від золошлаковідвалу

Fig. 7 – Dependence of the content of Heavy Metals (HM) in the soil on the distance from the ash and slag dump

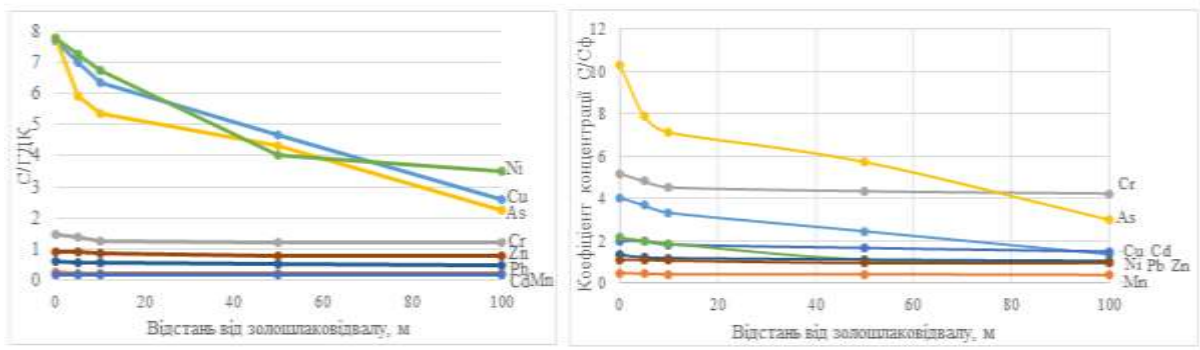


Рис. 8 – Залежність вмісту ВМ у ґрунті від відстані від золошлаковідвалу

Fig. 8 – Dependence of HM content in the soil on the distance from the ash and slag dump

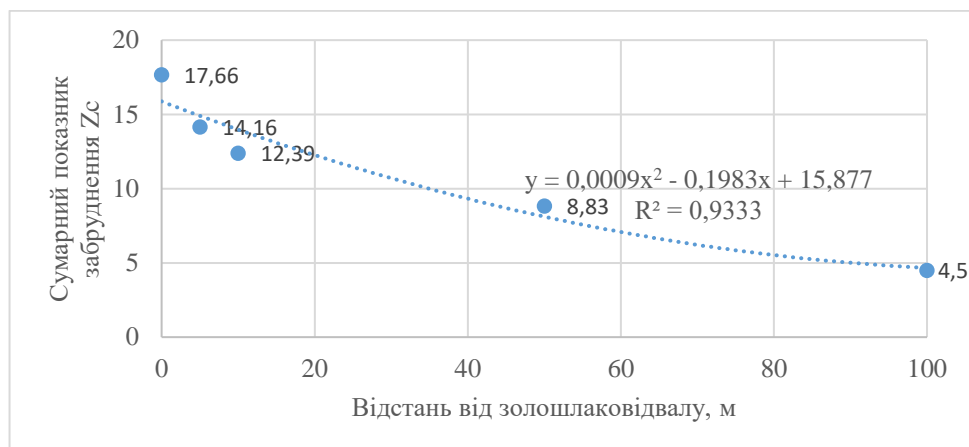


Рис. 9 – Залежність сумарного показника забруднення ґрунтів від відстані від золошлаковідвалу
Fig. 9 – Dependence of the total rate of soil pollution on the distance from the ash and slag dump

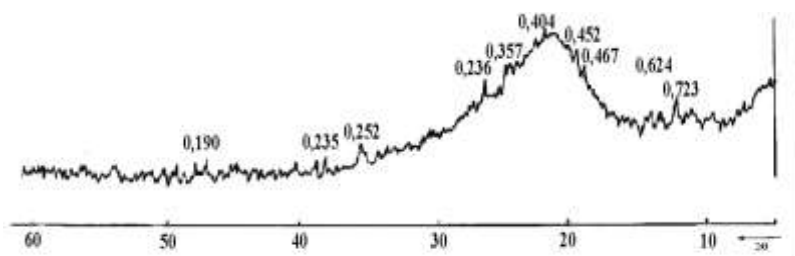


Рис. 10 – Рентгенограма золошлаку Зміївської ТЕС
Fig. 10 – Radiograph of ash slag of Zmiiv TPP

а також білі, прозорі слабо волокнисті зерна, вірогідно, воластоніту CaSiO_3 з $N_q=1,632$, $N_p=1,619$. Нерідко спостерігаються жовтувато бурі зерна з $N_m=1,645$ ймовірно представлені сполуками алюмосилікатів заліза. Скло також переважно залізоалюмосилікатного складу з $N=1,625-1,638$.

Співвідношення мінеральних фаз і скла змінне, проте слід зазначити переважання у золошлаку алюмосилікатів, силікатів кальцію і скла (рис. 10).

Сполуки ВМ приурочені в основному до аморфізованих глинистих агрегатів і сажи-сто-вуглецевим утворенням золи, в меншій мірі до шлакового скла та ще менше до зерен кварцового піску. «Зола: шлакові частинки: кварцовий заповнювач» знаходяться в співвідношенні 8...12 : 61...64 : 20...31%.

Міграція ВМ від золошлаку у компоненти екосистеми залежить від багатьох чинників, одним із визначальних є кислотність середовища.

Раніше нами було вивчено міграційні здатності важких металів за допомогою побудови концентраційно-логічних діаграм [13-17]. Встановлено, що Cu , Ni , Zn і Cr характеризуються низькою рухливістю у ґрунті поблизу золовідвалу, через що вони акумулюються в екосистемі поряд із золовідвалом, що пояснюється нейтральними і слабко-лужними значеннями рН ґрунту (рН=8,0...8,5).

Звичайно забруднення території поблизу золошлаковідвалу відбувається не лише за рахунок міграції ВМ із золошлаку, а й за рахунок вітрового переносу сухих золошлаків з поверхні золовідвалу, пиління.

Висновки

Ґрунти є депонуючим середовищем, їх стан можна вважати інтегральним показником тривалого процесу забруднення екосистеми.

Окрім того, забруднення педосфери пов'язано із забрудненням приземного шару повітря, поверхневих водних об'єктів та ґрунтових вод.

Встановлено наявність у золошлаку Зміївської ТЕС слабо-оплавлених зерен кварцу, гідроксидів феруму, воластоніту, алюмосилікатів феруму і шлакового скла. Золошлак Зміївської ТЕС містить Cu, Cr, As, Cd і Ni в концентраціях, що в декілька разів перевищують ГДК.

Складування золошлаковідходів Зміївської ТЕС призводить до забруднення води, що фільтрується через них, що в свою чергу, погіршує геохімічні властивості ґрунту, а також гідрохімічний склад поверхневих водних об'єктів та підземних вод.

Навіть на відстані до 100 метрів від відвалу спостерігається перевищення у ґрунті

ГДК за вмістом Ni, Cu, As, Cr. Коефіцієнт концентрації перевищує одиницю для Cr, As, Cu, Cd, Ni. Лише на відстані 100 метрів вміст Pb та Zn досягає фонових значень.

Оскільки золошлак містить такі фракції, що можуть легко розноситися вітром, слід припустити, що надходження ВМ у екосистему відбувається і повітряним шляхом, що також сприяє забрудненню атмосферного повітря. Вирішення проблеми утилізації золошлакових відходів слід віднайти у виробництві будівельних матеріалів, у дорожньому будівництві, але необхідно вивчати склад золошлаків і вірогідність міграції ВМ залежно від умов використання.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Список використаної літератури

1. Bushumov S. A., Korotkova T. G. Determination of physical and chemical properties of the modified sorbent from ash-and-slag waste accumulated on ash dumps by hydraulic ash removal. *Rasayan J. Chem.* 2020. Vol.13. № 3. P.1619-1626. <http://dx.doi.org/10.31788/RJC.2020.1335454>
2. Соколов А. В., Миронов А. В. Опытная рекультивация золошлаков Читинской ТЭЦ-1. *Водные ресурсы и водопользование*. Забайкальский государственный университет, Чита. 2019. 131-137.
3. Прибилова В. М. Оцінка впливу техногенного навантаження на геологічне середовище та особливості накопичення забруднювачів в зоні розміщення Зміївської ТЕС (Харківська область). *Вісник Харківського національного університету серія «Геологія. Географія. Екологія»*, 2013. № 1084. С. 237-243. URL: <https://periodicals.karazin.ua/geoeco/article/view/7591>
4. Kornus, A., Kornus, O., Shyshchuk, V., & Potseluev, V. (2020). The regional nosogeographical analysis and factors affecting population respiratory morbidity (on example of the Sumy region, Ukraine). *Journal of Geology, Geography and Geoecology.*, Vol. 29. № 1. P.82-93. DOI: <https://doi.org/10.15421/112008>
5. Очур-оол А.П., Севен С.С. Экологические аспекты воздействия кызылского золоотвала на окружающую среду. *Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки*. 2019. Т. 2. 71-74. URL: <https://vestnik.vogu35.ru/docs/2019/tekhnich/2/71.pdf>
6. Turhan Ş. et al. (2020) Ecological assessment of heavy metals in soil around a coal-fired thermal power plant in Turkey. *Environmental Earth Sciences*. Vol.79. № 6. P.134. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-020-8864-1>
7. Сниккарс П.Н., Золотова И.Ю., Осокин Н.А. Утилизация золошлаков ТЭС как новая кроссотраслевая задача. *Энергетическая политика*. 2020. №7(149). С. 34-45. URL: <https://energypolicy.ru/utilizacziya-zoloshlakov-tes-kak-novaya-k/energetika/2020/13/21/>
8. Статистичний щорічник України. 2019. Комітет статистики України. Київ, 2020. 465.
9. Крайнюк Е. В. Строительство автомобильных дорог при безопасном использовании фосфогипса и золошлаков ТЭС. Дисс.... Канд. Техн. наук. 2004. 190.
10. Tataru A. C., Stanci A. Research concerning the vegetation development on the ash and slag deposits of Thermal Power Plant Paroseni. 2019. *J. Phys.: Conf. Ser.* **1297**. 012016 URL:<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1297/1/012016>
11. Krainiuk O.V., Buts Y.V., Ponomarenko R.V., Asotskyi V.V., Kovalev P.A. The geoecological analysis performed for the geochemical composition of ash and slag waste obtained at Zmiiv thermal power plant. *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*, 30. №2. 298-305. DOI: <https://doi.org/10.15421/112126>
12. Буц Ю.В., Крайнюк Е.В., Безсонний В.Л. Деякі аспекти сумарного забруднення важкими металами ґрунтів Північно-Східного регіону України. *Проблеми надзвичайних ситуацій. Збірник НУЦЗУ*. Kharkiv: НУЦЗУ. 2006. № 5. С. 51-54. URL: <https://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol5/buc.pdf>
13. Buts, Y., Kraynyuk, O., Asotskyi, V., Ponomarenko, R., & Kalynovskyi, A. (2020). Geoecological analysis of the impact of anthropogenic factors on outbreak of emergencies and their prediction. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. Vol. 29. №1. P.40-48. DOI: <https://doi.org/10.15421/112004>
14. Buts, Y., Asotskyi, V., Kraynyuk, O., Ponomarenko, R., Kovalev, P. (2019). Dynamics of migration capacity of some trace metals in soils in the Kharkiv region under the pyrogenic factor *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*. Vol. 28. № 3. P.409-416. DOI: <https://doi.org/10.15421/111938>

15. Buts, Y., Asotskiy, V., Kraynyuk, O., Ponomarenko, R. (2018). Influence of technogenic loading of pyrogenic origin on the geochemical migration of heavy metals. *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*. Vol. 27. №1. P.43-50. DOI: <https://doi.org/10.15421/111829>
16. Крайнюк О.В., Буц Ю.В. Міграційна здатність свинцю у ґрунтах Харківського регіону під дією пірогенного чинника. *Треті Сумські наукові географічні читання: матеріали наук. конф. СумДПУ імені А.С. Макаренка. м. Суми. 10-12 жовт. 2018 р. Суми. 2018. С. 128-131. URL: https://repository.sspu.edu.ua/bitstream/123456789/10910/1/geografichni_chitannya_2018_2.pdf*
17. Крайнюк О.В., Буц Ю.В., Некос А.Н. Природна пожежа у Рівненському заповіднику та її аналіз. *VinSmartEco: матеріали І Міжнар. наук.-практ. конф. м. Вінниця. 16-18 трав. 2019 р., Вінниця: КВНЗ – Вінницька академія неперервної освіти, 2019. С. 25-26.*

Стаття надійшла до редакції 10.09.2021

Статтю рекомендовано до друку 12.10.2021

O. V. KRAYNYUK¹, Ph.D. (Technical),

Associate Professor of the Department of Metrology and Life Safety

¹*Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo Str., Kharkiv, 61000, Ukraine,*

Y. V. BUTS², DSc (Technical), Professor,

Head of the Department of Technology and Vital Activity

²*Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, 9-A, Nauki Ave. Kharkiv, 61166, Ukraine*

R. V. PONOMARENKO³, DSc (Technical), Senior Research Scientist

Deputy Head of the Department of Fire and Rescue Training

³*National University of Civil Defence of Ukraine, 94, Chernyshevskaya Str., Kharkiv, 61023, Ukraine*

V. V. BARBACHIN⁴, Ph.D. (Technical),

Associate Professor of the Department of Occupational and Life Safety

⁴*Kharkiv National University of Municipal Economy named after O.M. Beketov,*

17, Marshala Bazhanova Str., Kharkiv, 61002, Ukraine

P. I. LOTSMAN⁵, Ph.D. (Geography),

Associate Professor of the Department of Socio-Economic Disciplines and Geography

⁵*H.S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University, 2, Valentynivska Str., Kharkiv, 61168, Ukraine*

TECHNOGENIC INFLUENCE OF THE COMPOSITION OF ASH WASTE FROM THE ZMIIV POWER PLANT ON THE PEDOSPHERE

Purpose. To analyze the geochemical composition of ash and slag waste at the Zmiiv Thermal Power Plant (TPP) and to identify the features of migration of heavy metals (HM) from the place of storage of ash and slag waste into the ecosystem. To achieve this goal, the following tasks were solved: geochemical analysis of ash and slag waste at Zmiiv TPP; study of the reliability of HM migration into the soil in the places of ash and slag waste storage.

Methods. Atomic absorption analysis (AAA) on a spectrophotometer S-115. X-ray diffraction analysis was used to determine the solid inorganic part of ash and slag.

Results. Ash and slag of Zmiiv TPP contain Cu, Cr, As, Cd, Ni, Pb in quantities that are several times higher than the maximum permissible concentration (MPC). For ash and slag waste, the total pollution index is $Z_c = 43$, which corresponds to a high level. That is, this artificially created horizon is dangerous. HM migrate into groundwater and into the soil near the ash dump due to the infiltration of atmospheric precipitation, emissions from water pipelines, filtration of water through the base of the ash dump of the Zmiiv TPP. To determine soil contamination near the ash dump, soil analyzes were performed at a distance of 0 ... 100 meters. At a distance of up to 100 meters from the dump, there is an excess of MPC in the soil for the content of Ni, Cu, As, Cr. At a distance of up to 100 meters from the dump, an excess of the MPC in the content of Ni, Cu, As, Cr is observed. Concentration factor exceeds unity for Cr, As, Cu, Cd, Ni. The content of Pb and Zn reaches background values only at a distance of more than 100 meters. The calculation of the total soil pollution indicator allows us to classify these soils as moderately hazardous and permissible. However, there are several significant disadvantages of the Z_c indicator. First of all, it does not take into account the differences in the potential hazard of chemical elements, and, most importantly, the synergistic effects of polymetallic pollution. The coefficient of the synergistic effect of heavy metals is 26.64 (in the soil of the ash dump), then it decreases, but even at a distance of 100 meters it is 11.23, that is, at a distance of 0 ... 100 m from the ash dumps, the condition of the coefficient of synergistic effect is less than one. It has been established that Cu, Ni, Zn and Cr are characterized by low mobility in the soil near the ash dump, therefore they accumulate in the ecosystem near the ash dump, which is explained by the neutral and slightly alkaline soil pH values ($pH = 8.0 \dots 8.5$). The ratio of mineral phases to glass is unstable; however, it should be noted that aluminosilicates, calcium silicates and glass predominate in ash and slag. Compounds with HM are confined mainly to amorphous clay aggregates and sooty-carbon formations of ash, to a lesser extent to slag glass

and even less to grains of quartz sand.

Conclusions. Since the ash contains such fractions that can be easily carried by wind, it should be assumed that the HMs entry into the ecosystem is also by air, which also contributes to air pollution. The solution to the problem of ash and slag waste disposal should be found in the production of building materials, in road construction, but it is necessary to study the composition of ash and slag and the probability of HMs migration depending on the conditions of use.

KEYWORDS: geocological analysis, ash and slag waste, heavy metals, man-made load, ecosystem pollution

References

1. Bushumov S.A. & Korotkova T.G. (2020). Determination of physical and chemical properties of the modified sorbent from ash-and-slag waste accumulated on ash dumps by hydraulic ash removal. *Rasayan J. Chem.*, 13(3), 1619-1626. <https://doi.org/10.31788/RJC.2020.1335454>
2. Sokolov A.V. & Mironov A.V. (2019). Experimental reclamation of ash and slag of the Chita TPP-1 *Water Resources and Water Use*. Transbaikal State University, Chita. 131-137. (in Russian).
3. Pribilova V.M. (2013). Assessment of anthropogenic impact on the geological environment and features of the accumulation of pollutants in the zone of the zmyiv thermal power-station (Kharkiv region). *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology*, 39(1084), 237-243. Retrieved from <https://periodicals.karazin.ua/geoeco/article/view/7591> (in Ukrainian).
4. Kornus, A., Kornus, O., Shyshchuk, V. & Potseluev, V. (2020). The regional nosogeographical analysis and factors affecting population respiratory morbidity (on example of the Sumy region, Ukraine). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 29(1), 82-93. <https://doi.org/10.15421/112008>
5. Ochur-ool A. P. & Seven S. S. (2019). Environmental aspects of the impact of the Kyzyl ash dump on the environment *Bulletin of the Vologda State University. Series: Engineering Sciences*, 2, 71-74. Retrieved from <https://vestnik.vogu35.ru/docs/2019/tekhnich/2/71.pdf> (in Russian).
6. Turhan, Ş., Garad, A. M. K. , Hançerlioğulları, A. ,...& Aydın, A. (2020). Ecological assessment of heavy metals in soil around a coal-fired thermal power plant in Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 79(6), 134. <https://doi.org/10.1007/s12665-020-8864-1>
7. Snikkars P.N., Zolotova I.Yu., Osokin N.A. (2020) Utilization of ash and slag from TPPs as a new cross-sectoral task. *Energy policy*, 7(149). 34-45. Retrieved from <https://energypolicy.ru/utilizacziya-zoloshlakov-tes-kak-novaya-energetika/2020/13/21/> (in Russian).
8. Statistichnij shhorichnik Ukraïni, 2019 (2020). Statistics Service of Ukraine, Kiev. 465. (in Ukrainian)
9. Krainiuk E. V. (2004). Construction of highways with the safe use of phosphogypsum and ash and slag from TPPs dis. Cand. technical sciences. 190. (in Russian).
10. Tataru A. C. & Stanci A. (2019). Research concerning the vegetation development on the ash and slag deposits of Thermal Power Plant Paroseni. *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing. 1297. 1. 12-16. Retrieved from <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1297/1/012016>
11. Krainiuk O.V., Buts Y.V., Ponomarenko R.V., Asotskiy V.V., & Kovalev P.A. (2021). The geocological analysis performed for the geochemical composition of ash and slag waste obtained at Zmiiv thermal power plant *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*, 30(2), 298-305. <https://doi.org/10.15421/112126>
12. Buts Yu.V., Krainiuk O.V. & Bezsonny V.L. (2006). Some aspects of total heavy metal contamination of soils of the North-Eastern region of Ukraine Problems of emergencies. *Coll. Science. etc. HCC of Ukraine*. Kharkiv: UCZU, 5, 51-54. Retrieved from <https://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol5/buc.pdf> (in Ukrainian).
13. Buts, Y., Krainyuk, O., Asotskiy, V., Ponomarenko, R., & Kalynovskiy, A. (2020). Geoecological analysis of the impact of anthropogenic factors on outbreak of emergencies and their prediction. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 29(1), 40-48. <https://doi.org/10.15421/112004>
14. Buts, Y., Asotskiy, V., Krainyuk, O., Ponomarenko, R. & Kovalev P. (2019). Dynamics of migration capacity of some trace metals in soils in the Kharkiv region under the pyrogenic factor. *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*, 28(3), 409-416. <https://doi.org/10.15421/111938>
15. Buts, Y., Asotskiy, V., Krainyuk, O. & Ponomarenko, R. (2018). Influence of technogenic loading of pyrogenic origin on the geochemical migration of heavy metals. *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*, 27(1), 43-50. <https://doi.org/10.15421/111829>
16. Krainiuk, O.V. & Buts, Yu.V. (2018). Migration ability of plumbum in soils of Kharkiv region under the influence of pyrogenic factor. *Proceeding of the Ukrainian scientific conference: Third Sumy Scientific Geographical Readings, SumgPPU named after A.S. Makarenko*. Sumy. 128-131. Retrieved from https://repository.sspu.edu.ua/bitstream/123456789/10910/1/geografichni_chitannya_2018_2.pdf (in Ukrainian).
17. Krainiuk O.V., Buts Yu.V. & Nekos A.N. (2019). Natural fire in the Rivne Reserve and its analysis. *Proceeding of the International Scientific and Practical Conference: VinSmartEco*, Vinnitsa: Vinnitsa Academy of Continuing Education. 25-26. (in Ukrainian).

The article was received by the editors 10.09.2021

The article is recommended for printing 12.10.2021

Е. В. КРАЙНЮК¹, канд. техн. наук, доц.,
доцент кафедри метрології та безпеки життєдіяльності
e-mail: alenuvarova@ukr.net ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-9524-040X>

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
ул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, 61000, Україна,

Ю. В. БУЦ², д-р техн. наук, проф.,
заведуючий кафедри технологій та безпеки життєдіяльності
²Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця,
пр-кт Науки, 9А, Харків, 61000, Україна,

Р. В. ПОНОМАРЕНКО³, д-р техн. наук, старший научний співробітник,
заместитель начальника кафедри пожежної та рятувальної підготовки

³Національний університет громадянської захисту України,
ул. Чернышевская, 94, Харків, 61023, Україна,

В. В. БАРБАШИН⁴, канд. техн. наук, доц.,
доцент кафедри охорони праці та безпеки життєдіяльності
⁴Харківський національний університет міського господарства імені А.Н. Бекетова,
ул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002, Україна,

П. И. ЛОЦМАН⁵, канд. географ. наук, доц.,
доцент кафедри соціально-економічних дисциплін та географії
⁵Харківський національний педагогічний університет імені Г.С. Сковороди, ул. Валентинов-
ская, 2, Харків, 61168, Україна

ТЕХНОГЕННОЕ ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ЗМИЕВСКОЙ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НА ПЕДОСФЕРУ

Цель. Анализ геохимического состава золошлаковых отходов Змиевской ТЭС и выявление особенностей миграции тяжелых металлов (ТМ) от места складирования золошлаковых отходов в экосистему.

Методы. Атомно-абсорбционный анализ на приборе спектрофотометр С-115, рентгенофазовый анализ.

Результаты. Золошлаки Змиевской ТЭС содержат Cu, Cr, As, Cd, Ni, Pb в количествах, которые в несколько раз превышают ПДК. Для золошлаковых отходов суммарный показатель загрязнения составляет $Z_c = 43$, что соответствует высокому уровню. То есть этот искусственно созданный горизонт опасен. ТМ мигрируют в подземные воды и в почву рядом с золоотвалом за счет инфильтрации атмосферных осадков, выбросов из водопроводных коммуникаций, фильтрации вод через основание золоотвала Змиевской ТЭС. Для определения загрязнения почв вблизи золоотвала выполнены анализы грунта на расстоянии 0...100 метров. Установлено уменьшение концентрации ТМ в почве с расстоянием от золошлакоотвала. На расстоянии до 100 метров от отвала наблюдается превышение в почве ПДК по содержанию Ni, Cu, As, Cr. Коэффициент концентрации превышает единицу для Cr, As, Cu, Cd, Ni. Только на расстоянии более 100 метров содержание Pb и Zn достигает фоновых значений. Расчет суммарного показателя загрязнения почв позволяет отнести данные почвы к умеренно опасным и допустимым. Однако, есть несколько существенных недостатков у показателя Z_c он не учитывает различий потенциальной опасности химических элементов, а также, что наиболее важно, синергетические эффекты полиметаллического загрязнения. Коэффициент синергетического влияния тяжелых металлов составляет 26,64 (в почве золоотвала), далее уменьшается, но даже на расстоянии 100 метров составляет 11,23, то есть на расстоянии 0...100 м от золошлакоотвалов не выполняется условие не превышения коэффициента синергетического влияния единицы. Установлено, что Cu, Ni, Zn и Cr характеризуются низкой подвижностью в почве вблизи золоотвала, поэтому они аккумулируются в экосистеме рядом с золоотвалом, что объясняется нейтральными и слабощелочными значениями pH почвы (pH = 8,0...8,5). Соотношение минеральных фаз и стекла неустойчиво, однако следует отметить преобладание в золошлаках алюмосиликатов, силикатов кальция и стекла. Соединения ТМ приурочены в основном к аморфизированным глинистым агрегатам и сажистым-углеродным образованиям золы, в меньшей степени к шлаковому стеклу и еще меньше к зернам кварцевого песка.

Выводы. Решение проблемы утилизации золошлаковых отходов следует найти в производстве строительных материалов, в дорожном строительстве, но необходимо изучать состав золошлаков и вероятность миграции ТМ в зависимости от условий использования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: геоэкологический анализ, золошлаковые отходы, тяжелые металлы, техногенная нагрузка, загрязнение экосистемы

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-07>

UDC: 504.3.054+504.75.05

I. V. KRAVCHENKO¹, Ph. D. (Technical),

Associate Professor of Department of Chemical Engineering and Ecology

e-mail: kravchiv@snu.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8531-0512>

O. V. SUVORIN¹, DSc (Technical), Prof.,

Head of Department of Chemical Engineering and Ecology

e-mail: suvorin@snu.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9251-5017>

¹*Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*

Tsentralnyi Av., 59a, Severodonetsk, 93406, Ukraine

ASSESSING THE IMPACT OF EMISSIONS FROM SEVERODONETSK COGENERATION PLANT ON THE URBAN POPULATION HEALTH

Purpose. To determine the contribution of emissions of the state enterprise ‘Severodonetsk Cogeneration Plant’ to the air basin pollution level in Severodonetsk and the risks to public health.

Methods. Modelling of the pollutants spread from a single point source and assessment of chronic carcinogenic and toxic risks by using EOL-2000 [h] automated system with the ‘Risk Indicator’ utility for calculating the dispersion of emissions in the atmosphere. Risk Calculator (EPA US) helped to assess the risk levels for workers of different occupations, namely, outdoor workers, indoor workers, and builders. The seasonal wind rose was determined based on the Copernicus Climate Change Service (European Commission).

Results. According to the adopted modelling scenario (stable operation of the plant, a seasonal wind rose), the contribution of emissions from SE ‘Severodonetsk CP’ to the level of air pollution in Severodonetsk is extremely small, since the contents of all components are less than normal. However, the plant emits toxic compounds of manganese, vanadium, mercury as well as xylene and hydrogen fluoride, which are combined with background substances in the summation group. According to the modelling results, the sanitary protection zone of Severodonetsk CP does not require modification or adjustment.

Among all the emissions, chromium (VI) and nickel demonstrate oncogenic properties with a unidirectional effect on the lungs and nasal cavity. The individual carcinogenic risk of 6.01×10^{-6} generated by gas emissions of the plant is acceptable. Manifestation of chronic toxic effects from emissions of Severodonetsk CP is unlikely as indicated by the minimum (target) levels of non-carcinogenic risks.

Conclusions. Emissions from the planned activities of the CP during the cold period do not exceed MPC, and the risks to the health of the population living nearby residential areas and employees of enterprises are minimal. At the same time, the air quality in Severodonetsk is not satisfactory and requires measures to reduce risks. To perform this task, it is necessary to identify all sources of air pollution with the maximum contribution to the risks to the urban population health.

KEY WORDS: Severodonetsk, cogeneration plant, emissions, dispersion, concentration, health threat

Як цитувати: Kravchenko I. V., Suvorin O. V. Assessing the impact of emissions from Severodonetsk cogeneration plant on the urban population health. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2021. Вип. 25. С. 81-91. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-07>

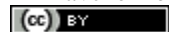
In cites: Kravchenko, I. V., & Suvorin, O. V. (2021). Assessing the impact of emissions from Severodonetsk cogeneration plant on the urban population health. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Ecology»*, (25), 81-91. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-07>

Introduction

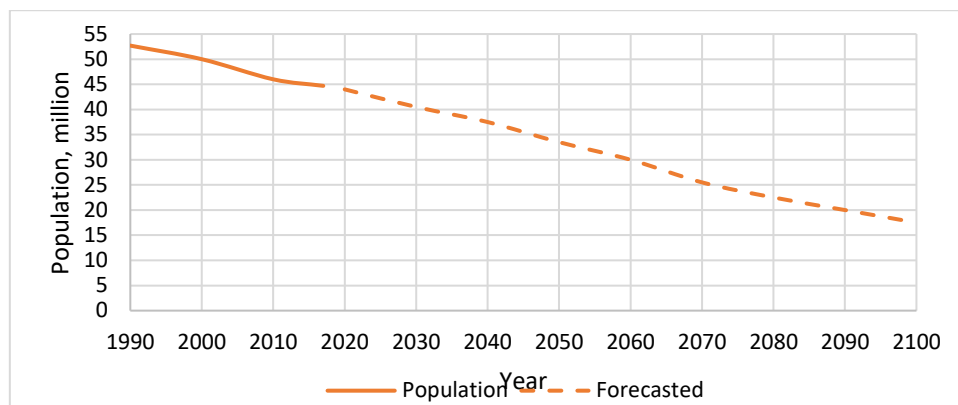
According to the population change projections [1] based on reliable statistical models of fertility, mortality, and migration in Ukraine, the population is expected to regress threefold (Fig. 1) with severe population aging and the predom

inance of post-reproductive age groups of people incapable of work, which will require significant budget expenditure on health care within the framework of sustainable development (Goal 3 – Good health and well-being). Population size and

© Kravchenko I. V., Suvorin O. V., 2021



[This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0.](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



	1990	2017	2100
Population	52.7M	44.7M	17.5M

Fig.1 – Population Trends in Ukraine, 1990-2100 [2]

composition are not exogenous factors that countries need to consider when planning but rather results they can manage. The policy currently pursued by the state may affect the trajectories of births, deaths, and migration.

We are witnessing climate change, and we can say with a high degree of confidence that vulnerable populations are suffering, since extreme heat, drought, forest fires, and other exposures degrade the air quality and create a wide range of health problems and inequalities.

In the era of shifting global agendas and increasing attention to non-communicable

diseases and injuries along with infectious diseases, reliable data on mortality reasons at the national level are required [3].

In 2019, lower respiratory tract infections took second place among 6 infectious diseases in children under 10, and the main reasons for the reduction of a full life of the over-50s were ischemic heart disease and stroke. Figure 2 presents the main causes of death in Ukraine and their change over 10 years, where cardiovascular diseases, liver diseases, and respiratory oncology are invariably in the lead (with an increase of 11.2%). It is worth noting that there is a signifi-

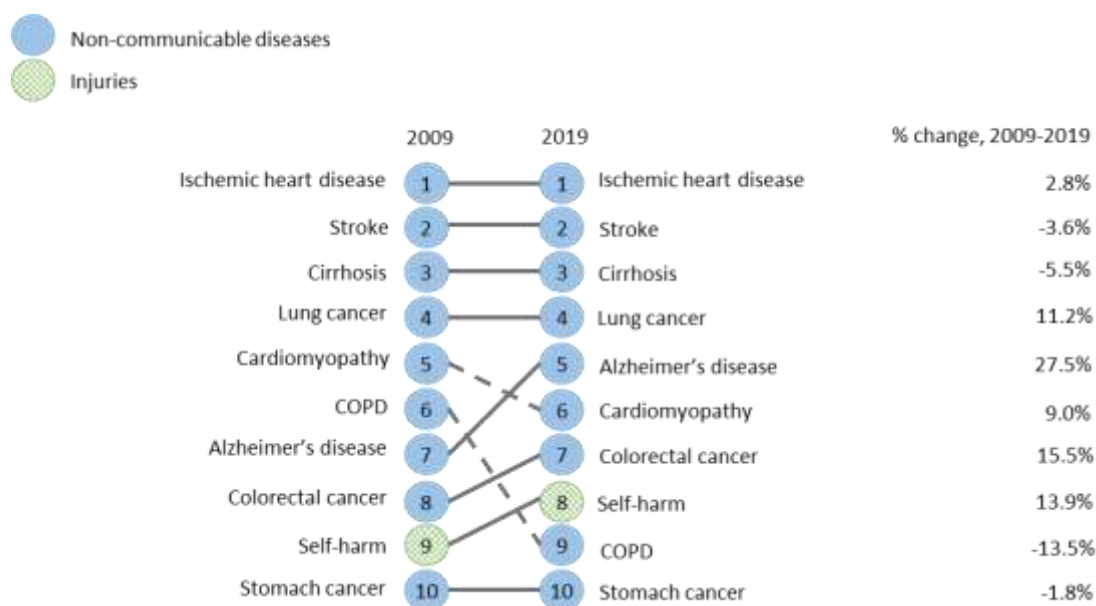


Fig.2 – Top 10 Causes of Death in Ukraine for All Age Groups (2009, 2019) [2]

cant increase of 27.5% in Alzheimer's disease (a type of dementia), one of the causes of which is air pollution by particulate matter, nitrogen oxides, carbon monoxide, and ozone as has recently been discovered [4].

Ukrainian researchers state a significant correlation between the level of morbidity of the population of our country (including children) and the volume of emissions of SO₂, CO₂, N₂O [5,6], radiation background [7] with a significant proportion of diseases of the respiratory, circulatory, and nervous systems. Work [6] also notes that industrially developed oblasts (Donetsk, Dnipropetrovsk, Luhansk, Zaporizhzhia, Kharkiv, Kyiv, and Lviv) are in the catastrophic risk zone, where the likelihood of developing respiratory diseases is high, and the relationship between emissions into the atmosphere (both from stationary sources and transport) and the incidences of tuberculosis is direct and very close ($R = 0.941$).

Combined heat and power generation (cogeneration) has high heat and resource efficiency. It is the CP that makes the decarbonization scenario of the European Union more cost-effective. Gas-fired CPs play an important role in reducing emissions, especially in densely populated urban areas. The transition of CPs from coal to natural gas can reduce CO₂ emissions by more than 70% improving the air quality on the way to carbon neutrality by 2050 [8]. However, possible adverse health and environmental consequences of such systems have not been adequately studied, and their contribution to air pollution must be considered on a case-by-case basis.

Paper [9] studied the potential role of cogeneration systems in the incidences of three environmental diseases, namely, asthma, allergic rhinitis, and atopic dermatitis. The author noted a tendency for an increase in incidences of these diseases in six South Korean cities with new CPs, but the relative risk was statistically significantly increased only for CO and NO₂.

Burning natural gas to generate energy resulted in increased concentrations of PM₁₀ and NO₂ in the air near the plant [10]. Although the level of pollutants was below the limits established by the European legislation, the number of daily visits to emergency services and hospitalizations of the elderly and age-related susceptibility correlated with the concentrations of pollutants measured at a distance of 1 and 3 km from the facility.

In addition to gas and dust emissions, noise exposure is a serious problem during the operation of CP, which negatively affects human health and ecosystems. Work [11] studied the effect of noise generated by cogeneration systems, estimated the environmental characteristics of the noise cancellation system. It noted that modelling of changes in sound power level, noise reduction efficiency, steam release, and the silencer service life showed that the health benefits for a person were much higher than the negative effects of noise, while the health impact due to the background (traffic) noise increased.

Vulnerable groups of the population are most susceptible to the effects of air pollutants, which include people with diseases of the lungs, cardiovascular system, and diabetes; children, adolescents, and the elderly; people staying outdoors for a long time; people with low income; people living or working near busy highways.

Thus, with the urban growth, the problem of maintaining health becomes more and more urgent especially in cities with a high technogenic load. It is vital to take care of the health of the population immediately as a component of national security at the state level. To do this, first, it is necessary to identify the sources of danger in the given territories, determine their impact on people and the environment and in case of exceeding the permissible exposure limits develop plans for their reduction or elimination. Cogeneration plants will be present in the overwhelming majority of Ukrainian cities for many years to come as one of the permanent sources of air pollution. The transition to renewable energy sources within the framework of the European Green Deal [12] will probably not take place quickly enough. Therefore, assessing the contribution of the operation of such plants to air pollution and public health risks remains relevant and, thus, is of scientific interest.

The purpose of the research is to determine the contribution of emissions from Severodonetsk CP as one of the old operating enterprises of the city to the level of air pollution in Severodonetsk and to the public health risks. This is as an intermediate stage of a comprehensive study to identify the main hazardous sources in order to manage these risks (eliminate or minimize) according to the Law of Ukraine 'About the Basic Principles (Strategy) of the State Environmental Policy of Ukraine for the Period till 2030' and the Sustainable Development Goals.

Materials and methods

Modelling of the spread of emissions from a single point source and assessment of chronic carcinogenic and toxic risks was performed using EOL-2000 [h] automated system for calculating the dispersion of emissions into the atmosphere with the 'Risk Indicator' utility recommended by the Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. The initial data used in the modelling included information on the qualitative and quantitative composition of the CP emissions (Table 1); the parameters of the emission source (height 240 m, diameter 6.5

m, volumetric flow rate of waste gases 600,000 m³/h, temperature 110°C); geographical, meteorological, and climate parameters of the area (the seasonal wind rose of Severodonetsk (Fig. 3) determined based on the global environmental and safety monitoring service called Copernicus Climate Change Service [13]). The size of the calculated field for mapping concentration isolines was 10,000×10,000 m, the step of the grid nodes was 500 m; background loads were taken into consideration as well.

Table 1

Emission Characteristics of Severodonetsk CP

Substance code	Substance	Average daily MPC, mg/m ³	Hazard class	Actual emission, g/s	Actual gross emission, t/year
110	Vanadium Pentoxide	0.002	1	0.0010	0.0080
123	Iron Oxide	0.04	3	0.0226	0.1796
143	Manganese	0.001	2	2.0016	15.9100
164	Nickel Oxide	0.001	2	0.0002	0.0016
183	Metallic Mercury	0.0003	1	0.00011	0.0009
203	Chromium (VI)	0.0015	1	0.0002	0.00143
301	Nitrogen Dioxide	0.04	3	16.6980	132.7300
322	Sulphuric Acid	0.1	2	2.0059	15.9440
328	Soot	0.05	3	0.0139	0.1105
330	Sulphurous Anhydride	0.05	3	157.8232	1254.500
342	Hydrogen Fluoride	0.005	2	0.0019	0.0151
410	Methane	0.15	3	1.0144	8.0633
616	Xylene	0.2	3	0.0365	0.2901
13000	Carbon Dioxide	3	4	9.5082	75.5790

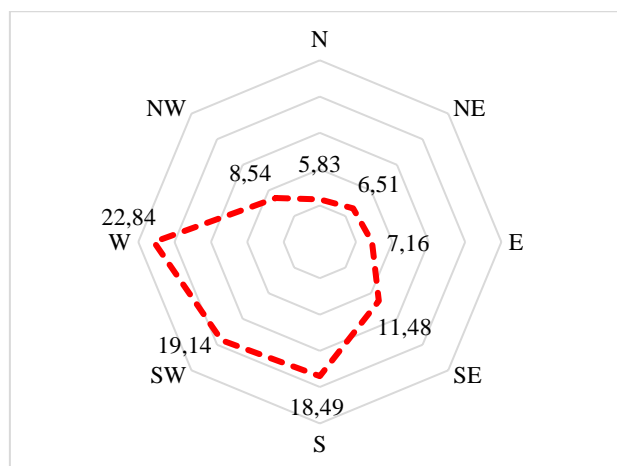


Fig.3 – Seasonal Wind Rose in Severodonetsk (Winter) [14]

Table 2 presents the background concentrations of pollutants in the atmospheric air of Severodonetsk [15]. The dispersion calculation was not carried out if the sum of the maximum

surface concentrations from the emission sources for the ingredient divided by the MPC was less than the calculation expediency constant.

Table 2

Background Content of Pollutants in the Atmospheric Air of Severodonetsk

Substance code	Substance	Concentration, mg/m ³		Ratio of C _i to one-time MPC
		Annual average	Maximum	
203	Chromium (VI)	0.00007	0.00084	0.047
301	Nitrogen Dioxide	0.03	0.05	0.15
303	Ammonia	0.02	0.04	0.1
316	Hydrogen Chloride	0.04	0.12	0.2
322	Sulphuric Acid	0.0068	0.024	0.023
328	Dust	0.1	0.2	0.2
330	Sulphurous Anhydride	0.019	0.041	0.038
337	Carbon Oxide	1	2	0.2
1325	Formaldehyde	0.008	0.016	0.229

Results

SE 'Severodonetsk CP' is a power enterprise of Severodonetsk, one of the largest co-generation plants in Ukraine designed for heat and power supply of the city and the giant of the chemical industry of Ukraine PrJSC 'Severodonetsk Azot Association'. The electric power of the CP is 260 MW, the heat capacity is 906 Gcal/hour; commissioned in 1952. It runs on natural gas, belongs to the objects of the third hazard

class with the size of the standard sanitary protection zone (SPZ) of 300 m.

As a result of modelling of the dispersion of emissions, we mapped the fields of isolines of concentrations of individual chemical substances and groups of summation of combined action formed by the emission and background compounds with a total number of 7 groups (Table 3).

Table 3

Summation Groups Formed by Hazardous Impurities and Background Pollutants

Substances included in the summation group	Summation group number
Ammonia - Formaldehyde	5
Vanadium and Compounds - Manganese and Compounds	10
Vanadium and Compounds - Sulphurous Anhydride	11
Vanadium and Compounds - Hexavalent Chromium	12
Sulphuric Acid - Sulphurous Anhydride	28
Nitrogen Dioxide - Sulphurous Anhydride	31
Sulphurous Anhydride - Gaseous Fluoride Compounds	35

Modelling of the dispersion of emissions showed that concentrations of all individual substances and summation groups did not exceed the MPC. This means that the SPZ of Severodonetsk CP does not require correction even taking into account the wind rose. In addition, the stack is located on the industrial site of the chemical plant (on the western side relative to the residential part of the city) within which there are many stationary sources of emissions of substances of a higher hazard class with the SPZ of significantly larger dimensions overlapping the SPZ of the CP. The distance from the stack to residential buildings in Severodonetsk (in the east) and the village of Pavlograd (in the south-west) is about 2 km.

The Risk Indicator utility makes it possible to calculate the average annual concen-

tration of a pollutant from the given source and to quantify the chronic inhalation health risks posed by these pollutants taking into account the background. The individual carcinogenic risk is calculated through the unit risk (IUR_i , [mg/m³]⁻¹) according to formulas (1, 2):

$$IUR_i = SF_i \times 1/m \times V, \quad (1)$$

$$ICR_i = IUR_i \times C_i, \quad (2)$$

where SF_i – Slope Factor, [mg/(kg×day)]⁻¹;

m – average body weight, kg;

V – pulmonary ventilation volume, m³/day;

ICR_i – individual carcinogenic risk;

C_i – concentration of a carcinogen in the air, mg/m³.

Non-carcinogenic risks are determined by the coefficient and hazard index (HI) according to formulas (3, 4)

$$HQ_i = C_i / RfC_i, \quad (3)$$

$$HI = \sum HQ_i, \quad (4)$$

where HQ_i – toxicant hazard ratio i ;

RfC_i – reference concentration of a toxicant i , mg/m³.

The resulting risk values are interpreted as follows (Table 4).

Table 4

Classification of Risk Levels (EPA USA)

Risk level	Hazard coefficient of non-carcinogenic effect for an individual substance	Hazard index of non-carcinogenic effect for groups of substances of unidirectional effect	Individual carcinogenic risk throughout life
High	> 3	> 6	> 10 ⁻³
Alarming	1.1 – 3	3.1 – 6	1.1·10 ⁻⁴ – 1.0·10 ⁻³
Acceptable	0.11 – 1.0	1.1 – 3	1.1·10 ⁻⁶ – 1.0·10 ⁻⁴
Minimum (target)	0.1 and less	1.0 and less	10 ⁻⁶ and less

Chromium (VI) and nickel manifest carcinogenic properties in the emissions from Severodonetsk CP, and they have a unidirectional effect on *the lungs* and *nasal cavity* (Table 5). The lifetime carcinogenic risk from exposure to chromium in the amount taken with consideration of the background content was 8.46·10⁻⁴ (alarming). The same risk from exposure to nickel was 5.257·10⁻⁹ (minimal), i.e. chromium was the main contributor to risk. However, when assessing the contribution of the CP emissions to

the individual carcinogenic risk (column 7 determines the concentration of a carcinogen introduced by Severodonetsk CP into the atmospheric air, and column 8 assesses the individual carcinogenic risk based on the concentration from column 7), the result decreased by two orders of magnitude and became acceptable. Thus, we can conclude that the main contribution to risks is compounds coming from sources other than those contained in emissions from the CP as evidenced by the data in Table 5.

Table 5

Carcinogenic Risks of the CP's Planned Activities (Based on the Atmospheric Air Criterion)

CAS code (*group code)	Substance name (combined action group)	Average annual concentration C_i , mg/m ³	SF_i , mg/(kg·day)	IUR_i , m ³ /mg	ICR_i (* ICR of combined action)	Contribution of CP emissions to C_i , mg/m ³	Contribution of CP emissions to ICR
18540-29-9	Chromium (VI)	0.0000705	42	12	0.00084601	5·10 ⁻⁷	6·10 ⁻⁶
*122	Lung impact group (Cr(VI), Ni)	-	-	-	*0.00084602	-	*6.01·10 ⁻⁶
*135	Nasal cavity impact group Cr(VI), Ni	-	-	-	*0.00084602	-	*6.01·10 ⁻⁶
7440-02-0	Nickel	0.00000002	0.91	0.26	5.26·10 ⁻⁹	2.00·10 ⁻⁸	5.20·10 ⁻⁹

Table 6 presents the calculated average annual concentrations of compounds based on the background values as well as the value of the hazard index from the impact of these toxicants. Thus, we can see that the contribution of the CP emissions to the state of the city's air basin is extremely small but it introduces such compounds as manganese, vanadium, mercury, xylene, and hydrogen fluoride.

The hazard ratios for all individual substances were in the range from minimal to acceptable (column 5).

For the group of unidirectional effect on *the respiratory organs*, the hazard index was 3.72 (alarming).

In this group of combined action, PM ($HQ = 2.01$), NO₂ ($HQ = 0.75$) and Cr(VI) ($HQ = 0.705$) made the greatest contribution to the risk; for summation group No. 31, the hazard index was 1.002 (acceptable). Columns 6, 7 show the values of the contribution of emissions from Severodonetsk CP to the formation of the total average annual concentrations of pollutants as well as non-carcinogenic risks, which indicate the minimum (target) level of toxic effect.

Table 6
Non-Carcinogenic Risks from the CP's Planned Activities (Based on the Atmospheric Air Criterion)

CAS code (*group code)	Substance name (combined action group)	Average annual concentration C_i , mg/m ³	Reference concentration, mg/m ³	HQ_i (*HI)	CP contribution to the average annual concentration, mg/m ³	CP contribution to HQ (*HI)
*100	Respiratory impact group (PM ₁₀ , NO ₂ , Cr(VI), V, SO ₂ , HF)	-	-	*3.717		*0.030
PM ₁₀	PM ₁₀	0.1005	0.05	2.010	0.0005	0.01
*31	Summation group No. 31	-	-	*1.002	-	*0.014
10102-44-0	Nitrogen Dioxide	0.03010131	0.04	0.753	1.01·10 ⁻⁴	0.003
18540-29-9	Chromium (VI)	0.0000705	0.0001	0.705	5·10 ⁻⁷	0.005
*10	Summation group No. 10	-	-	*0.405	-	*0.405
*101	CNS impact group (xylene, Mn, Hg)	-	-	*0.405	-	*0.405
7439-96-5	Manganese and Compounds	0.00002024	0.00005	0.405	2.02·10 ⁻⁵	0.405
*11	Summation group No. 11	-	-	*0.250	-	*0.012
7446-09-5	Sulphur Dioxide	0.01995734	0.08	0.250	9.57·10 ⁻⁴	0.012
7440-62-2	Vanadium and Compounds	0.00000001	0.00007	1.429·10 ⁻⁴	1.00·10 ⁻⁸	1.429·10 ⁻⁴
1330-20-7	Xylene	0.00000037	0.3	1.233·10 ⁻⁶	3.70·10 ⁻⁷	1.233·10 ⁻⁶
7664-39-3	Hydrogen Fluoride	0.00000002	0.03	6.667·10 ⁻⁷	2.00·10 ⁻⁸	6.667·10 ⁻⁷
7439-97-6	Mercury and Compounds	1.11·10 ⁻⁹	0.003	3.707·10 ⁻⁷	1.11·10 ⁻⁹	3.707·10 ⁻⁷

The following restrictions and simplifications presented uncertainty in the modelling performed:

- background values of pollutants were taken in the residential area and not in the working area of PrJSC 'Severodonetsk Association Azot' where the stack is located (in this way,

one can additionally assess the health risks to workers of these enterprises);

- all emissions of chromium compounds were accounted for as Cr(VI);
- solid particles of various aerodynamic radius were accounted for as PM₁₀;
- the calculation of risks was not differentiated depending on the exposure.

Discussion

The city of Severodonetsk is currently the regional centre of Luhansk oblast, part of Severodonetsk-Lysychansk agglomeration, located in the eastern part of Ukraine in the west of Luhansk region on the left bank of the Siverskyi Donetsk river, in the steppe zone. The terrain within and around the city is flat with small uplifts (50-80 m above sea level); the city centre rises above the outskirts by an average of 5 m. The territory of the city occupies 4210 hectares including 2030 hectares under residential buildings and 2060 hectares under industrial facilities (operating and not). The population size has increased significantly because of migration processes (mainly due to the armed conflict) and ranges from 110 to 125 thousand people according to various estimates. The air quality in Severodonetsk has changed significantly over the past decade. The air pollution index has gradually fallen from 10.1 in 2011 to 6.4 in 2014 and 5.6 in 2019 due to deindustrialization.

The ecological situation in different districts of the city is heterogeneous and depends mainly on two factors, namely, emissions from stationary sources and vehicles, the amount of which has increased manifold. The main problem associated with air pollution by industrial enterprises is their proximity to the residential area of the city and suburban villages. It should also be noted that the number of solid fuel boilers used by enterprises of various forms of ownership has increased in the city, which are distributed throughout the residential area. They can be considered as a diffuse source of emissions. The main harmful components of emissions from such boilers are nitrogen and sulphur oxides, carbon oxides, dust, and carcinogens (formaldehyde, benzo(a)pyrene, etc.). On the eastern side of the city, close to residential buildings (300 m), there is Severodonetskteplokomunenergo utility company, which supplies heat to some parts of the residential area and

runs on natural gas. According to the seasonal wind rose, a significant part of emissions from this enterprise come in the direction opposite to the city, but the situation requires additional study with control (monitoring) of exposure and risks. The analysis of the reasons for the unsatisfactory quality of the atmospheric air in Severodonetsk as well as assessment of the inhalation carcinogenic and non-carcinogenic risks to the health of the local population are given in works [16-18].

Table 7 shows the results of the clarification of the risk levels for workers of enterprises located within the SPZ using the Risk Calculator [19] recommended by the EPA US for Outdoor Worker, Indoor Worker (exposure time is 8 h/day, 225 days a year, 25 years), and Construction Worker (exposure time is 8 h/day, 250 days a year, 1 year) scenarios. Pollutant concentrations are taken from Tables 5, 6 (columns 3).

Table 7 shows that the non-carcinogenic risk is *acceptable* for all workers, and the carcinogenic

Table 7

Chronic Inhalation Carcinogenic and Non-Carcinogenic Risks for Workers

Chemical	IUR, ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹	RfC, mg/m ³	Concentration, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Outdoor Worker		Indoor Worker		Construction Worker	
				HQ	Risk	HQ	Risk	HQ	Risk
Chromium(VI)	$8.4 \cdot 10^{-2}$	$1.0 \cdot 10^{-4}$	$7.05 \cdot 10^{-2}$	$1.45 \cdot 10^{-1}$	$4.35 \cdot 10^{-4}$	$1.61 \cdot 10^{-1}$	$4.83 \cdot 10^{-4}$	$1.68 \cdot 10^{-1}$	$2.01 \cdot 10^{-5}$
Hydrogen Fluoride	-	$1.4 \cdot 10^{-2}$	$2.00 \cdot 10^{-5}$	$2.94 \cdot 10^{-7}$	-	$3.26 \cdot 10^{-7}$	-	$3.40 \cdot 10^{-7}$	-
Manganese and Compounds	-	$5.0 \cdot 10^{-5}$	$2.02 \cdot 10^{-2}$	$8.32 \cdot 10^{-2}$	-	$9.24 \cdot 10^{-2}$	-	$9.64 \cdot 10^{-2}$	-
Mercury and Compounds	-	-	$1.12 \cdot 10^{-6}$	-	-	-	-	-	-
Nickel	$2.6 \cdot 10^{-4}$	$2.0 \cdot 10^{-5}$	$2.00 \cdot 10^{-5}$	$2.05 \cdot 10^{-4}$	$3.82 \cdot 10^{-10}$	$2.28 \cdot 10^{-4}$	$4.24 \cdot 10^{-10}$	$2.38 \cdot 10^{-4}$	$1.77 \cdot 10^{-11}$
Nitrogen Dioxide	-	-	30.1	-	-	-	-	-	-
Sulphur Dioxide	-	-	20.0	-	-	-	-	-	-
Vanadium and Compounds	-	$1.0 \cdot 10^{-4}$	$1.00 \cdot 10^{-5}$	$2.05 \cdot 10^{-5}$	-	$2.28 \cdot 10^{-5}$	-	$2.38 \cdot 10^{-5}$	-
Xylenes	-	$1.0 \cdot 10^{-1}$	$3.70 \cdot 10^{-4}$	$7.60 \cdot 10^{-7}$	-	$8.45 \cdot 10^{-7}$	-	$8.81 \cdot 10^{-7}$	-
Total Risk/HI				$2.28 \cdot 10^{-1}$	$4.35 \cdot 10^{-4}$	$2.54 \cdot 10^{-1}$	$4.83 \cdot 10^{-4}$	$2.65 \cdot 10^{-1}$	$2.01 \cdot 10^{-5}$

genic risk for outdoor and indoor workers is interpreted as *alarming* and completely depends on the background content mainly of chromium (VI).

Except the above, we can add that Severodonetsk CP needs modernization of equipment, the introduction of modern cleaning systems as well as reconstruction for using various types of fuel including biomass and municipal solid waste.

This would solve the problem of utilization of household waste because currently there are no waste sorting or waste processing plants in the region. Therefore, all waste, without exception, is buried in overcrowded solid waste landfills, and a large number of unauthorized landfills have appeared in suburban areas.

Conclusions

In the adopted modelling scenario (stable operation of the considered plant, a seasonal wind rose, etc.), emissions from the CP during the heating season do not exceed the allowable concentration limits according to OND-86. It is the method implemented by EOL-2000 calculation modules. However, concerning the 2020/2021 heating season some deviations from the results are quite likely due to the frequent failure of worn-out equipment of the plant (power boiler and heating mains) with possible emergency emissions.

Thus, gas emissions from Severodonetsk CP during the period under study create additional to the existing *minimal* risks of threat to the health of the population of nearby residential areas or workers of operating enterprises located within the SPZ of the CP. The situation requires real measures to reduce risks but not because of the planned activities of the CP. First of all, it is necessary to identify all sources of air pollution with the greatest contribution to the risks to the health of the urban population.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this manuscript. In addition, the ethical issues, including plagiarism, informed consent, misconduct, data fabrication and/or falsification, double publication and/or submission, and redundancies have been completely observed by the authors.

References

1. Vollset, S.E., Goren, E., Yuan, C.-W., Cao, J., Smith, A.E...Murray Ch. J.L. (2020). Fertility, mortality, migration, and population scenarios for 195 countries and territories from 2017 to 2100: a forecasting analysis for the Global Burden of Disease Study. *The Lancet*, 396(10258), 1285–1306. [http://doi.org/10.1016/s0140-6736\(20\)30677-2](http://doi.org/10.1016/s0140-6736(20)30677-2)
2. Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME). [Ukraine] profile. Seattle, WA: IHME, University of Washington, 2018. Retrieved from <http://www.healthdata.org/ukraine?language=134>
3. Vos, T., Lim, S.S., Abbafati, C., Abbas, K.M., Abbasi, M. & al. (2020). Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet*, 396(10258), 1204–1222. [http://doi.org/10.1016/s0140-6736\(20\)30925-9](http://doi.org/10.1016/s0140-6736(20)30925-9)
4. Peters, R., Ee, N., Peters, J., Booth, A., Mudway, I. & Anstey, KJ. (2019). Air Pollution and Dementia: A Systematic Review. *J Alzheimers Dis*, 70(s1), 145-163. <http://doi.org/10.3233/JAD-180631>
5. Nekos, A. N., Muromtseva, Yu. I. (2021). Estimation of the Air Emissions of Pollutants Influence on Primary Morbidity Indicator of the Population : Case in Kharkiv Region – Ukraine. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University Series "Ecology"*, (24), 57-65. <http://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-24-05>
6. Tarasova V. V. (2013). The impact of air pollution on public health. *Agrosvit*, 16, 24-28. Retrieved from http://www.agrosvit.info/pdf/16_2013/6.pdf (In Ukrainian)
7. Volosovets, O.P., Kryvopustov, S.P., Kriuchko, T.O., Honchar, M.O., Abaturov, O.Ie...Lukovnikova E. A. (2018). Influence of ecologically unfavorable environment on the incidence and prevalence of diseases of the circulatory system in children of Ukraine. *Health of Society*, 7(5), 229-236. <http://doi.org/10.22141/2306-2436.7.5.2018.158608> (In Ukrainian)
8. COGEN Europe. *Cogeneration 2050: the Role of Cogeneration in a European Decarbonised Energy System*. Brussels: COGEN Europe (2011). Retrieved from <http://www.buildup.eu/en/node/35071>
9. Moon, J. (2020). Cogeneration plant and environmental allergic diseases: is it really an eco-friendly energy source? *Ann Occup Environ Med.*, 32(1):e38. <http://doi.org/10.35371/aoem.2020.32.e38>
10. Agostino Di Ciaula. (2012). Emergency visits and hospital admissions in aged people living close to a gas-fired power plant. *European Journal of Internal Medicine*, 23(2), e53-e58. <http://doi.org/10.1016/j.ejim.2011.09.013>.
11. Marcinkowski, A. & Kopania, J. (2021). Environmental Performance of Noise Reduction System in Cogeneration Plants—A Life Cycle Assessment Study. *Energies*, 14, 1324. <http://doi.org/10.3390/en14051324>
12. The European Green Deal. Retrieved from http://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
13. Climate Data Store. Retrieved from http://cds.climate.copernicus.eu/toolbox-editor/64739/52_wind_rose
14. Borshchun, Yu. & Kravchenko, I. (2020). Retrospective study of wind roses in Severodonetsk. *Proceedings of the All-Ukrainian Scientific-Practical. Conf. with International Participation: Future scientist-2020*, Severodonetsk, 2020, Dec. 4, Volodymyr Dahl East-Ukrainian national university (pp.50-52). Retrieved from <http://dspace.snu.edu.ua:8080/jspui/handle/123456789/3734> (In Ukrainian)
15. Ecological passport of the region. Luhansk region. (2020). *Department of Communal Property, Land, Property Relations, Ecology and Natural Resources*. Retrieved from http://www.eco-lugansk.gov.ua/images/docs/ekopasport/Ekopasport_2019.pdf
16. Kravchenko, I.V. (2021). Analysis of the current state of the air and assessment of inhalation non-carcinogenic risk to the health of the population of the Severodonetsk-Lysychansk agglomeration. *Environmental sciences*, 2(35), 7-14. <http://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.2-35.1> (In Ukrainian)
17. Kravchenko, I. (2021). Assessment health carcinogenic risk of the population of the Severodonetsk-Lysychansk agglomeration. *Proceedings of the International Scientific Conference: The current stage of development of scientific and technological progress*, Karlsruhe, Germany, 2021, Feb. 9, No 15 (pp.41-44). <http://doi.org/10.30890/2709-1783.2021-15>
18. Kravchenko, I. (2021). Assessment of the risk of immediate toxic effects in the population of the Severodonetsk-Lysychansk agglomeration. *Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference: Current issues, achievements and prospects of Science and education*, Athens, Greece, 2021, May 3-5 (pp. 13-14). Retrieved from <http://eu-conf.com/wp-content/uploads/2021/05/XII-Conference-Current-issues-achievements-and-prospects-of-Science-and-education.pdf> (In Ukrainian)
19. RAIS Chemical Risk Calculator. *The Risk Assessment Information System*. Retrieved from http://rais.ornl.gov/cgi-bin/prg/RISK_search

The article was received by the editors 12.09.2021

The article is recommended for printing 12.10.2021

І. В. КРАВЧЕНКО¹, канд. техн. наук, доц.,
доцент кафедри хімічної інженерії та екології

О. В. СУВОРІН¹, д-р техн. наук, проф.,
завідувач кафедри хімічної інженерії та екології

¹Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля,
проспект Центральний, 59а, м. Северодонецьк, 93406, Україна

ОЦІНКА ВПЛИВУ ВИКИДІВ СЕВЕРОДОНЕЦЬКОЇ ТЕЦ НА ЗДОРОВ'Я МІСЬКОГО НАСЕЛЕННЯ

Мета. Визначити внесок викидів державного підприємства «Северодонецька ТЕЦ» у рівень забруднення повітряного басейну міста Северодонецьк та в ризики загрози здоров'ю населення.

Методи. Моделювання поширення забруднюючих домішок з одиночного точкового джерела і оцінка хронічних канцерогенних та токсичних ризиків проводилась за допомогою автоматизованої системи розрахунку розсіювання викидів в атмосфері ЕОЛ-2000 [h] з утилітою «Показник ризику». Для оцінки рівнів ризиків професійних контингентів «працівник на вулиці», «працівник в приміщенні» і «будівельник» використовували Risk Calculator (EPA US). Сезонна роза вітрів визначена на базі сервісу глобального моніторингу навколишнього середовища і безпеки Copernicus Climate Change Service (European Commission).

Результати. За прийнятим сценарієм моделювання (стабільна робота установки, сезонна роза вітрів) внесок викидів ДП «Северодонецька ТЕЦ» у рівень забруднення атмосферного повітря міста Северодонецьк вкрай малий, оскільки вміст всіх компонентів менший за нормовані значення, але діяльність установки привносить у міське повітря токсичні сполуки марганцю, ванадію, ртуті, а також ксилол і фторид водню, які поєднуються з фоновими речовинами у групи сумачії. За результатами моделювання санітарно-захисна зона Северодонецької ТЕЦ не вимагає уточнення або корегування.

Онкогенні властивості в складі викидів проявляють хром (VI) та нікель з односпрямованим впливом на легені і носову порожнину. Індивідуальний канцерогенний ризик 6.01×10^{-6} , створюваний газовими викидами установки, є прийнятним. Прояв хронічних токсичних ефектів від викидів Северодонецької ТЕЦ малоймовірний, на що вказують мінімальні (цільові) рівні неканцерогенних ризиків.

Висновки. Викиди від планової діяльності ТЕЦ в холодний період року не перевищують допустимі концентраційні межі (ГДК_{мр}), а ризики загрози здоров'ю населення прилеглих житлових районів і працівників підприємств є мінімальними. У той же час, якість атмосферного повітря в м. Северодонецьк не є задовільною і потребує заходів по зниженню ризиків. Для цього необхідно виявити всі джерела забруднення атмосферного повітря з максимальним внеском у ризики загрози здоров'ю міського населення.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: Северодонецьк, ТЕЦ, викиди, розсіювання, концентрація, загроза здоров'ю

Список використаної літератури

1. Vollset S.E., Goren E., Yuan C.-W., Cao J., Smith A.E. et al. Fertility, mortality, migration, and population scenarios for 195 countries and territories from 2017 to 2100: a forecasting analysis for the Global Burden of Disease Study. *The Lancet*. 2020. Vol. 396. No 10258. P.1285–1306. DOI: [http://doi.org/10.1016/s0140-6736\(20\)30677-2](http://doi.org/10.1016/s0140-6736(20)30677-2)
2. Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME). [Ukraine] profile. Seattle, WA: IHME, University of Washington, 2018. Available from Ukraine]. URL: <http://www.healthdata.org/ukraine?language=134>
3. Vos T., Lim S.S., Abbafati C., Abbas K.M., Abbasi M. et al. Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet*. 2020. Vol. 396. No 10258. P.1204–1222. DOI: [http://doi.org/10.1016/s0140-6736\(20\)30925-9](http://doi.org/10.1016/s0140-6736(20)30925-9)
4. Peters R., Ee N., Peters J., Booth A., Mudway I., Anstey KJ. (2019). Air Pollution and Dementia: A Systematic Review. *J Alzheimers Dis*. No 70(s1). P.145-163. DOI: <http://doi.org/10.3233/JAD-180631>
5. Nekos A. N., Muromtseva Yu. I. Estimation of the Air Emissions of Pollutants Influence on Primary Morbidity Indicator of the Population : Case in Kharkiv Region – Ukraine. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2021. No 24. P.57-65. DOI: <http://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-24-05>
6. Тарасова В.В. Вплив забруднення атмосферного повітря на стан здоров'я населення. *Агросвіт*. 2013. №16. С.24-28. URL: http://www.agrosvit.info/pdf/16_2013/6.pdf
7. Волосовець О.П., Кривопустов С.П., Крючко Т.О., Гончарь М.О., Абатуров О.Є. та ін. Вплив екологічно несприятливого довкілля на захворюваність та поширеність хвороб системи кровообігу у дітей України. *Health of Society*. 2018. Т.7. №5. С.229-236. DOI: <http://doi.org/10.22141/2306-2436.7.5.2018.158608>
8. COGEN Europe. *Cogeneration 2050: the Role of Cogeneration in a European Decarbonised Energy System*. Brussels: COGEN Europe; 2011. URL: <http://www.buildup.eu/en/node/35071>
9. Moon J. Cogeneration plant and environmental allergic diseases: is it really an eco-friendly energy source? *Ann Occup Environ Med*. 2020. Vol. 32. No 1. P.e38. DOI: <http://doi.org/10.35371/aoem.2020.32.e38>

10. Agostino Di Ciaula. Emergency visits and hospital admissions in aged people living close to a gas-fired power plant. *European Journal of Internal Medicine*. 2012. Vol. 23. No 2. e53-e58. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ejim.2011.09.013>.
11. Marcinkowski A.; Kopania J. Environmental Performance of Noise Reduction System in Cogeneration Plants—A Life Cycle Assessment Study. *Energies*. 2021. No 14. P.1324. DOI: <http://doi.org/10.3390/en14051324>
12. The European Green Deal. URL: http://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
13. Climate Data Store. URL: http://cds.climate.copernicus.eu/toolbox-editor/64739/52_wind_rose
14. Бошун Ю., Кравченко І. Ретроспективне дослідження рози вітрів м.Северодонецьк. *Майбутній науковець-2020: матеріали всеукраїнської наук.-практ. конф. з міжнародною участю*. Северодонецьк: Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, 4 грудня 2020 г. С.50-52. URL: <http://dspace.snu.edu.ua:8080/jspui/handle/123456789/3734>
15. Екологічний паспорт регіону. Луганська область, 2020. *Департамент комунальної власності, земельних, майнових відносин, екології та природних ресурсів*. URL: http://www.eco-lugansk.gov.ua/images/docs/ekopasport/Ekopasport_2019.pdf
16. Кравченко І.В. Аналіз сучасного стану повітря та оцінка інгаляційного неканцерогенного ризику здоров'ю населення Северодонецько-Лисичанської агломерації. *Екологічні науки*. 2021. No 2(35). С.7-14. DOI: <http://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.2-35.1>
17. Kravchenko I. Assessment health carcinogenic risk of the population of the Severodonetsk-Lysychansk agglomeration. *The current stage of development of scientific and technological progress: International scientific conference*, Karlsruhe, Germany, 9 Feb. 2021. No 15. P.41-44. DOI: <http://doi.org/10.30890/2709-1783.2021-15>
18. Кравченко І.В. Оцінка ризику прояву негайних токсичних ефектів у населення Северодонецько-Лисичанської агломерації. *Current issues, achievements and prospects of Science and education. Abstracts of XII International Scientific and Practical Conference*. Athens, Greece, 2021, May 3-5. С.13-14. URL:<http://eu-conf.com/wp-content/uploads/2021/05/XII-Conference-Current-issues-achievements-and-prospects-of-Science-and-education.pdf>
19. RAIS Chemical Risk Calculator. *The Risk Assessment Information System*. URL: http://rais.ornl.gov/cgi-bin/prg/RISK_search

Стаття надійшла до редакції 12.09.2021

Стаття рекомендована до друку 12.10.2021

И. В. КРАВЧЕНКО¹, канд. техн. наук, доц.,
доцент кафедри химической инженерии и экологии
А. В. СУВОРИН¹ д-р техн. наук, проф.,
заведующий кафедры химической инженерии и экологии

¹Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, проспект Центральный, 59а, г. Северодонецк, 93406, Украина

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫБРОСОВ СЕВЕРОДОНЕЦКОЙ ТЭЦ НА ЗДОРОВЬЕ ГОРОДСКОГО НАСЕЛЕНИЯ

Цель. Определить вклад выбросов ГП «Северодонецкая ТЭЦ» в уровень загрязнения воздушного бассейна города Северодонецк и в риски угрозы здоровью населения.

Методы. Моделирование рассеивания выбросов из одиночного точечного источника и оценка хронических канцерогенных и токсических рисков проводилась с помощью автоматизированной системы расчета ЭОЛ-2000[h] с утилитой «Показатель риска». Для оценки уровней рисков профессиональных контингентов «работник на улице», «работник в помещении» и «строитель» использовали Risk Calculator (EPA US). Сезонная роза ветров определена на базе сервиса глобального мониторинга окружающей среды и безопасности Copernicus Climate Change Service (European Commission).

Результаты. По принятому сценарию моделирования (стабильная работа установки, сезонная роза ветров) негативный вклад выбросов ТЭЦ в состояние воздушного бассейна города крайне мал (содержание всех компонентов меньше нормированных значений), но привносит соединения марганца, ванадия, ртути, ксилол и фтористый водород. Санитарно-защитная зона Северодонецкой ТЭЦ не требует корректировки. Онкогенные свойства проявляют хром (VI) и никель с однонаправленным воздействием на легкие и носовую полость. Индивидуальный канцерогенный риск 6.01×10^{-6} , создаваемый газовыми выбросами установки, является приемлемым. Проявление хронических токсических эффектов от выбросов Северодонецкой ТЭЦ маловероятно, на что указывают минимальные (целевые) уровни неканцерогенных рисков.

Выводы. Выбросы от плановой деятельности ТЭЦ в холодный период года не превышают допустимые концентрационные пределы (ПДК_{мр}), а риски угрозы здоровью населения близлежащих жилых районов и работников предприятий минимальны.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Северодонецк, ТЭЦ, выбросы, рассеивание, концентрация, угроза здоровью

Статья поступила в редакцию 12.09.2021

Статья рекомендована в печать 12.10.2021

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-08>
УДК (UDC): 614.777:546.175(477.42)

Р. А. ВАЛЕРКО, канд. с.-г. наук, доц.,
доцент кафедри загальної екології
e-mail: valerko_ruslana@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4716-0100>
Поліський національний університет
бульвар Старий, 7, м. Житомир, 10008, Україна

ВМІСТ НІТРАТІВ У ПІДЗЕМНИХ ВОДАХ ТА ОЦІНКА ПОТЕНЦІЙНИХ РИЗИКІВ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я СІЛЬСЬКОГО НАСЕЛЕННЯ НОВОГРАД-ВОЛИНСЬКОГО РАЙОНУ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Мета. Дослідити вміст нітратів у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання на території сільських населених пунктів нового укрупненого Новоград-Волинського району Житомирської області та оцінити потенційні ризики для різних категорій місцевого населення від постійного споживання води із підвищеним вмістом нітратів.

Методи. Польові, лабораторно-аналітичні, статистичні.

Результати. Установлено, що найбільш забрудненою є питна вода приватних колодязів, що знаходяться на території бувшого Ємільчинського району, який наразі входить до складу Новоград-Волинського району, де у всіх зразках було виявлено перевищення вмісту нітратів, а середній їх вміст становив 99,04 мг/дм³. Загалом у 57,5 % відібраних зразків питної води укрупненого району було виявлено перевищення рівня нітратів, а середня їх концентрація території усього району становила 67,86 мг/дм³. Найбільше перевищення нітратів у воді у 7,9 рази виявлено у приватній криниці села Кам'янка Барашівської територіальної громади. Доведено, що індекс ризику внаслідок споживання питної води для дітей є більшим ніж для дорослих – на середньому, а при середньому вмісті нітратів у питній воді ризик для дітей встановлено на високому рівні, а для дорослих – на середньому, а при середньому вмісті нітратів у питній воді ризик для дітей встановлено на середньому рівні, а для дорослих – на низькому рівні.

Висновки. Доведено, що, загальний ризик надходження нітратів при обох шляхах впливу приблизно дорівнює ризику для здоров'я внаслідок споживання питної води. У загальному ризику частка неканцерогенного ризику внаслідок споживання питної води становила 99,5 %, що набагато вище, ніж при контакті зі шкірою. Це свідчить про те, що нітрати із підземних вод до організму людини надходять в основному із питною водою, тому необхідним є постійний моніторинг їх вмісту у питній воді.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: Новоград-Волинський район, сільські населені пункти, питна вода, нітрати, здоров'я, індекс ризику

Як цитувати: Валерко Р. А. Вміст нітратів у підземних водах та оцінка потенційних ризиків для здоров'я сільського населення Новоград-Волинського району Житомирської області. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2021. Вип. 25. С. 92-100. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-08>

In cites: Valerko, R. A. (2021). Nitrate content in groundwater and assessment of potential risks for health of the rural population in Novograd-Volyn raion Zhytomyr district. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Ecology»*, (25), 92-100. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-08>

Вступ

Забруднення підземних вод нітратами, які є найбільш поширеними хімічними забруднювачами їх у світі, є однією із найбільш серйозних екологічних проблем. Вважається, що ґрунтові води є більш безпечними та якісними, проте через надмірну діяльність людини вони також піддаються впливу поверхневого

землекористування та інфільтрації з поверхні. Забруднення питної води громадських та приватних колодязів нітратами пов'язано, в основному, із широким використанням мінеральних, особливо азотних добрив.

Оскільки, добрива є найважливішим фактором у сільськогосподарських районах,

вода із джерел нецентралізованого водопостачання у цих місцях часто містить більш високі рівні вмісту нітратів [1].

Через нестачу водних ресурсів, жителі сільських територій змушені використовувати забруднені підземні води для побутових потреб та у якості питної води, не замислюючись над їх якістю та впливом на стан свого здоров'я. Вода, що містить високі рівні нітратів, є небезпечною для споживання людиною, що пов'язано із такими негативними наслідками як метгемоглобінемія, онкозахворювання тощо. В Україні концентрація нітратів у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання не повинна перевищувати 50 мг/дм³, а тому необхідним є постійний моніторинг їх вмісту у питній воді для недопущення забруднення ґрунтових вод нітратами.

Модель оцінки ризику для здоров'я людини, запропонована Агентством з охорони навколишнього середовища США [2], є одним з найбільш корисних методів кількісної оцінки потенційних ризиків, що пов'язані із забрудненням ґрунтових вод та створює наукову основу для місцевого управління водокористуванням. Таким чином, метою даного дослідження була оцінка якості питної води джерел нецентралізованого водопостачання сільських населених пунктів Новоград-Волинського району Житомирської області за вмістом нітратів та визначення впливу нітратного забруднення води на ризику для здоров'я місцевого населення.

Проблемі нітратного забруднення питної води джерел нецентралізованого водопостачання сільських населених пунктів присвячено велику кількість праць українських та зарубіжних учених, які вивчають вміст нітратів у воді, причини їх надходження та перевищення, а також оцінку ризику для здоров'я населення внаслідок споживання питної води з перевищенням нормативом нітратів. Нітратами – це головний забруднювач підземних вод [3], які привернули увагу усього світу [4]. Джерелами надходження нітратів до підземних вод є стічні води, перегній домашніх тварин і туалети [5], осадження атмосферного азоту і внесення хімічних та органічних добрив [6]. На процес трансформації та характеристики розподілення нітратів у підземних водах впливають як фізичні процеси, так і

геохімічні реакції [7]. Забруднення ґрунтових вод нітратами відрізняється за регіонами, що пов'язано, у першу чергу, із джерелами нітратів, структурою ґрунту, кліматичними умовами, глибиною залягання підземних вод, гідрогеологічними умовами тощо [8, 9].

Нітратами із підземних вод можуть надходити до організму людини при споживанні питної води та контакті із шкірою і безпосередньо впливають на здоров'я людини. Доведено негативний вплив на здоров'я людини, пов'язаний із такими несприятливими наслідками як метгемоглобінемія, яка є особливо небезпечною для дітей [10], розлади функціонування шлунково-кишкового тракту, цитоподібної, підшлункової, передміхурової залоз тощо [11]. Таким чином, актуальним, на нашу думку, є дослідження вмісту нітратів у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання та оцінка потенційного ризику для здоров'я сільського населення.

Новоград-Волинський район знаходиться на заході Житомирської області із адміністративним центром у місті Новоград-Волинський. Площа території становить 5256,6 км², а кількість населення станом на 2020 рік становить 169704 особи. У складі району наразі налічується 12 територіальних громад [12]. За даними Головного управління статистики у Житомирській області протягом 2020 року на території району під посіви сільськогосподарських культур було внесено 24476 ц мінеральних добрив. Крім того, у Новоград-Волинському районі було внесено найбільшу кількість органічних добрив, а саме 32358 т [13], що можливо, може бути пов'язано із концентрацією на території району сільськогосподарських підприємств органічного виробництва.

Оскільки, як зазначалось вище, на вміст нітратів у підземних водах впливають, у першу чергу, внесення мінеральних та органічних добрив, дослідження вмісту нітратів у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання сільських селітебних територій Новоград-Волинського району та оцінки ризику для здоров'я місцевого населення, внаслідок споживання нітратно забрудненої води, є питанням виключно важливим та актуальним.

Об'єкти та методи дослідження

Дослідження проходили на території нового укрупненого Новоград-Волинського району, до складу якого з 17 липня 2020 року

повністю увійшли Новоград-Волинський, Баранівський та Смільчинський райони, які

наразі класифікують як територіальні громади (рис. 1).

Загалом на території району було відібрано 88 зразків води із громадських і приватних джерел нецентралізованого водопостачання (колодязі, свердловини), зокрема: на території бувшого Баранівського району відібрано 15 зразків, Смільчинського – 6 та

Новоград-Волинського - 52. Аналітичні дослідження відібраних зразків води здійснювали на базі Вимірювальної лабораторії навчально-наукового центру екології та охорони навколишнього середовища Поліського національного університету за загальноприйнятими методиками, що не суперечать стандартам України.



Рис. 1 – Карта нового Новоград-Волинського району Житомирської області
Fig. 1 – Map of the new Novograd-Volyn district of Zhytomyr region

За характеристиками забруднюючих речовин водного середовища модель оцінки ризику для здоров'я може бути поділена на модель оцінки генотоксичної речовини і модель оцінки токсичної речовини. Нітрати є токсичними речовинами для організму. Вважається, що оцінка ризику соматичних токсичних речовин основана на референтній дозі – якщо експозиційна доза перевищує референту, то можуть виникнути токсичні ефекти [14]. Отже, ризик можливого розвитку неканцерогенних ефектів оцінювали за показниками коефіцієнтів небезпеки (HQ), що розраховується за формулою 1:

$$HQ = ADD / RfD, \quad (1)$$

де ADD – середньодобова доза надходження хімічної речовини протягом життя, мг/кг×доба;

RfD – порогова (референтна) доза, мг/кг×доба [15].

Граничне значення неканцерогенного ризику, що рекомендоване Агентством з охорони навколишнього середовища США, становить 1. Якщо $HQ < 1$, то неканцерогенний ризик для здоров'я людини, викликаний забруднювачем, знаходиться у межах допустимого діапазону, а виникнення побічних ефектів є маловірогідним. Якщо розрахована величина $HQ > 1$, то це свідчить про те, що неканцерогенний ризик для здоров'я людини, викликаний забруднювачем є неприйнятним, та із збільшенням HQ неканцерогенний ризик для здоров'я також має тенденцію до зростання [2].

Нітрати надходять до організму людини пероральним шляхом із питною водою

і продуктами харчування та на шкіру. Розрахунок середніх добових експозиційних доз проводиться за формулами 2-4:

$$ADD = ADD_{wo} + ADD_{wd}, \quad (2)$$

$$ADD_{wo} = C \times IR \times ED \times EF \times ABS / BW \times AT, \quad (3)$$

$$ADD_{wd} = C \times SA \times K_p \times EV \times ET \times ED \times CF / BW \times AT, \quad (4)$$

де ADD_{wo} – середньодобова доза впливу через питну воду, $мг \times кг^{-1} \times доба^{-1}$;

ADD_{wd} – середньодобова доза при контакті із шкірою, $мг \times кг^{-1} \times доба^{-1}$;

C – концентрація речовини у воді, $мг/дм^3$;

IR – величина споживання води, $л \times добу^{-1}$;

ABS – коефіцієнт всмоктування забруднюючих речовин у шлунково-кишковому тракті;

ED – тривалість впливу, років;

EF – частота впливу, днів/рік;

BW – маса тіла людини, кг;

AT – період усереднення експозиції, років;

SA – поверхня контакту із шкірою, $см^2$;

K_p – коефіцієнт проникності забруднюючих речовин через шкіру, $см \times год^{-1}$;

EV – частота прийняття ван, днів;

ET – час купання, $год \times добу^{-1}$;

CF – коефіцієнт перетворення об'єму (табл. 1).

Таблиця 1
Параметри, що використовуються під час оцінки ризику для здоров'я людини [14]
Table 1
Parameters used in human health risk assessment [14]

Параметри	Діти	Дорослі
RfD – порогова (референтна) доза, $мг/кг \times доба$	1,6	1,6
C – концентрація речовини у воді, $мг/дм^3$	виміряно	виміряно
IR – величина споживання води, $л \times добу^{-1}$	1,8	2,0
BW – маса тіла людини, кг	35	70
ET – час купання, $год \times добу^{-1}$	0,167	0,167
ABS – коефіцієнт всмоктування забруднюючих речовин у шлунково-кишковому тракті	0,5	0,5
AT – період усереднення експозиції, років	$365 \times ED$	$365 \times ED$
EV – частота прийняття ван, днів	1	1
K_p – коефіцієнт проникності забруднюючих речовин через шкіру, $см \times год^{-1}$	0,001	0,001
CF – коефіцієнт перетворення об'єму, $л \times см^{-2}$	1/1000	1/1000
ED – тривалість впливу, років	30	30
EF – частота впливу, днів/рік	365	365
SA – поверхня контакту із шкірою, $см^2$	$1,0 \times 10^4$	$1,65 \times 10^4$

Результати та обговорення

Як зазначалося вище новий Новоград-Волинський район утворений у 2020 році із трьох районів: Баранівського, Ємільчинського та Новоград-Волинського. Усі райони концентрують велику кількість фермерських сільськогосподарських підприємств, зокрема на території Баранівського та Новоград-Волинського районів функціонує один із найбільших в Україні концернів органічного виробництва ТОВ «Галекс-Агро» [16].

Вміст нітратів у всіх досліджуваних районах у середньому перевищував встановлений відповідно вітчизняному стандарту ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною», норматив на рівні $50 мг/дм^3$ [17]. Найбільш критична ситуація виявлена у Ємільчинському районі, де у всіх зразках

води виявлено перевищення вмісту нітратів, а середній їх вміст становив $99,04 мг/дм^3$, що перевищує норматив майже у 2 рази (рис. 2).

Основою економічної діяльності Ємільчинського району є лісівництво, первинна лісопереробка та сільське господарство, яке представлене вирощуванням зернових, соняшнику, кукурудзи, сої, а також виробництвом молока і м'яса. Ґрунти на території району є піщаними та супіщаними, суглинистими і торф'яними, за хімічними властивостями які характеризуються підвищеною кислотністю. Ґрунтові води залягають на глибині 1-4 м.

Загалом же, територія укрупненого Новоград-Волинського району є важливою сільськогосподарською базою Житомирщини. За кількістю площ сільськогоспо-

дарських угідь, що знаходяться у користуванні сільськогосподарських підприємств району належить друге місце у області. Тут використовується велика кількість мінеральних добрив, майже 70 % із яких є азотні, що призводить до відкладення нітрогену з опадами у ґрунтові води та спричинює їх забруднення нітратами. За кількістю внесення

органічних добрив район займає перше місце по області, що також може бути додатковим чинником внесенням нітрогену у ґрунтові води [12]. Тваринництво також є важливим джерелом надходження нітратів до підземних вод. Район займає друге місце по області після

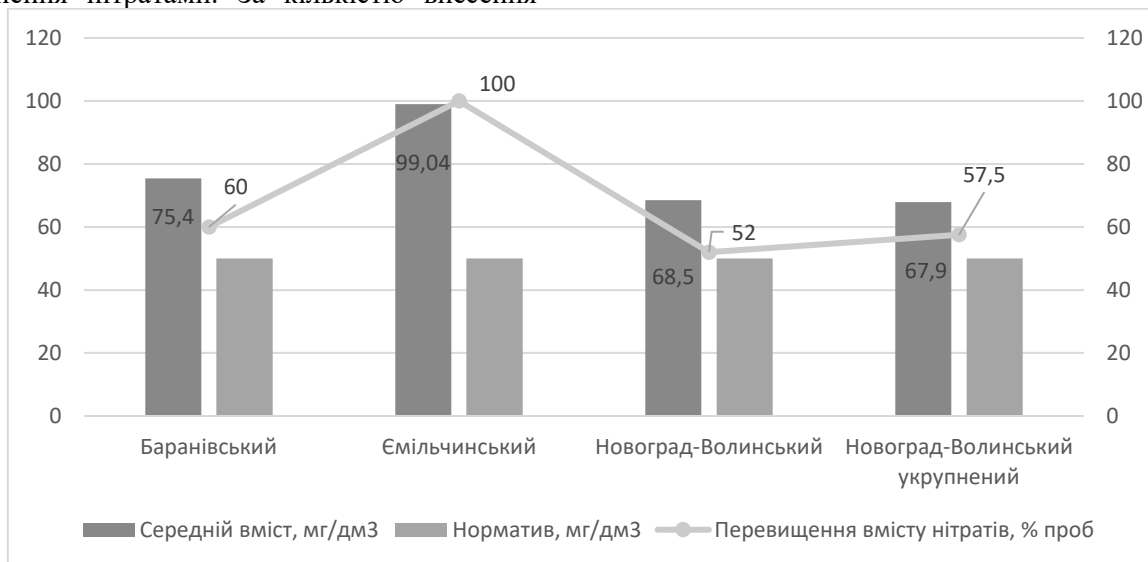


Рис. 2 – Вміст нітратів у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання основних частин Новоград-Волинського району

Fig. 2 – The content of nitrates in drinking water sources of decentralized water supply of the main parts of Novograd-Volyn district

Житомирського району за кількістю утримання великої рогатої худоби на сільськогосподарських підприємствах району (табл. 2).

Концентрація нітратів у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання сільських селітебних територій нового укрупненого Новоград-Волинського району становила 0,5 – 393 мг/дм³, а в середньому – 67,86 мг/дм³ (рис. 2). Таким чином, установлено, що у 57,5 % відібраних зразків питної води було виявлено перевищення рівня нітратів. Найбільш критична ситуація зафіксована у приватній криниці села Кам'янка Барашівської територіальної громади Новоград-Волинського району, де вміст нітратів у питній воді зафіксовано на рівні 393 мг/дм³, що перевищує норматив у 7,9 рази.

Відповідно визначенню індексу ризику Агентства з охорони навколишнього середовища США, прийнятний рівень ризику неканцерогенних хронічних токсичних ефектів становить 1. У таблиці 3 наведено результати оцінки моделі ризику для здоров'я. Доведено, що із збільшенням концентрації нітратів у питній воді збільшується й величина індексу ризику для здоров'я людини. Зокрема, індекс ризику

для дітей, що споживають нітрати із водою коливається у межах від 0,008 (при вмісті нітратів у воді 0,5 мг/дм³) до 6,3 (при вмісті нітратів на рівні 393 мг/дм³), при середньому значенні 1,1, а це у 1,8 рази більше ніж у дорослих, що підтверджено також й іншими дослідженнями [18] (табл. 3).

Відповідно методики величина індексу ризику виникнення негативних ефектів для людини внаслідок постійного споживання питної води, що містить надлишкові кількості нітратів, класифікується таким чином: до 0,1 – дуже низький ризик; 0,1-1 – низький ризик; 1-5 – середній ризик; 5-10 – високий ризик і більше 10 – це критичний ризик. Таким чином, установлено, що при максимальному вмісті нітратів у воді для дітей індекс ризику визначається як високий ризик, а для дорослих як середній. При середньому вмісті нітратів у питній воді ризик для дітей встановлено на середньому рівні, а для дорослих – на низькому рівні (табл. 3).

Індекс ризику при контакті зі шкірою набагато менше 1, що свідчить про низький ризик, величина якого знаходиться на прийнятному рівні [19] (табл. 3).

Таблиця 2
Основні сільськогосподарські характеристики Новоград-Волинського району [13]

The main agricultural characteristics of Novograd-Volyn district [13]

Показник	Величина
Площа сільськогосподарських угідь у володінні та користуванні сільськогосподарських підприємств, тис. га	28,1
Внесення мінеральних добрив під посіви сільськогосподарських культур, кг на 1 площі	77,7
Внесення органічних добрив під посіви сільськогосподарських культур, т на 1 га площі	1,13
Кількість великої рогатої худоби, голів	12961

Таблиця 3
Неканцерогенний ризик від надходження нітратів із питною водою для дорослого та дитячого населення сільських населених пунктів Новоград-Волинського району

Table 3
Non-carcinogenic risk from nitrate intake with drinking water for adults and children of rural settlements in Novograd-Volynskiy district

Категорія населення	Індекс ризику із пероральним надходженням		Індекс ризику при нашкірному надходження		Загальний індекс ризику	
	діапазон	Середнє	діапазон	Середнє	діапазон	Середнє
Діти	0,008-6,3	1,1	0,0004-0,0321	0,0055	0,0084-6,3321	1,1055
Дорослі	0,004-3,5	0,6	0,00003-0,03	0,004	0,004-3,53	0,604

Отже, загальний ризик надходження нітратів при обох шляхах впливу приблизно дорівнює ризику для здоров'я внаслідок споживання питної води. У загальному ризику частка неканцерогенного ризику внаслідок споживання питної води становила 99,5 %, що набагато вище, ніж при контакті зі шкірою. Це доводить, що нітрати із підземних вод до організму людини надходять в основному із питною водою. Оскільки, за відсутності на території району системи централі-

зованого водопостачання, місцеві жителі змушені використовувати воду із колодязів для забезпечення своїх питних потреб, необхідним є постійний контроль за вмістом нітратів у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання. Відповідно з метою зниження ризику для здоров'я сільського населення першочерговим завданням місцевої влади має бути обладнання системи централізованого водопостачання.

Висновки

Здійснення оцінки вмісту нітратів у підземних водах та визначення потенційних ризиків для здоров'я сільського населення Новоград-Волинського району Житомирської області, спонукало нас до наведення таких основних висновків:

- Новоград-Волинський район є важливою аграрною базою Житомирської області, оскільки на його території сконцентровано велику кількість сільськогосподарських підприємств, у тому числі й органічного виробництва; за кількістю внесення мінеральних добрив район займає друге місце по області, а за кількістю внесення органічних – перше; крім того, на території району широко розвинене тваринництво;

- вміст нітратів у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання сільських селітєбних територій нового укрупненого Новоград-Волинського району у середньому становив 67,86 мг/дм³, а найбільше їх значення зафіксовано у колодязі села Кам'янка Барашівської територіальної громади на рівні 393 мг/дм³, що перевищує норматив у 7,9 рази;

- доведено, що індекс ризику для дітей у 1,8 рази більше ніж у дорослих, зокрема при максимальному вмісті нітратів у воді для дітей індекс ризику визначається як високий ризик, а для дорослих як середній;

- індекс ризику при контакті зі шкірою набагато менше 1, що свідчить про низький ризик, величина якого знаходиться на

прийнятному рівні, а внесок його у сумарний ризик є незначним;

- найбільший внесок у сумарну величину ризику на рівні 99,5 % здійснено за

рахунок споживання нітратів із питною водою, а тому контроль за вмістом нітратів у питній воді повинен здійснюватись на постійній основі.

Конфлікт інтересів

Автор заявляє, що робота є частиною науково-дослідного дослідження за темою: «Еколого-соціальна оцінка стану сільських селітебних територій у контексті сталого розвитку» (№: 0120U104233). Крім того, автор повністю дотримувався етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Список використаної літератури

1. Romanchuk L. D., Valerko R. A., Herasymchuk L. O., Kravchuk M. M. Assessment of the impact of organic agriculture on nitrate content in drinking water in rural settlements of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. Vol. 11. No 2. P. 17-26. DOI: https://doi.org/10.15421/2021_71
2. US Environmental Protection Agency . Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories. US EPA; Washington, DC, USA: 2012. pp. 2–6.
3. Zhang Q., Sun J., Liu J., Huang G., Lu Ch., Zhang Y. Driving mechanism and sources of groundwater nitrate contamination in the rapidly urbanized region of south China. *Journal of Contaminant Hydrology*. 2015. Vol. 182. P. 221-230. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2015.09.009>.
4. Goni I. B., Sheriff B. M., Kolo A. M., Ibrahim M. B. Assessment of nitrate concentrations in the shallow groundwater aquifer of Maiduguri and environs, Northeastern Nigeria. *Scientific African*. 2019. Vol. 4. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00089>.
5. Палапа Н. В. Оцінка сільських селітебних територій за якістю питної води. *Агроекологічний журнал*. 2015. № 4. С. 41-47.
6. Czekaj J., Jakóbczyk-Karpierz S., Rubin H., Sitek S., Witkowski A. J. Identification of nitrate sources in groundwater and potential impact on drinking water reservoir (Goczałkowice reservoir, Poland). *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 2016. Vol. 94. P. 35-46. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2015.11.005>.
7. He B., He J., Wang L., Zhang X., Bi E. Effect of hydrogeological conditions and surface loads on shallow groundwater nitrate pollution in the Shaying River Basin: Based on least squares surface fitting model. *Water Research*. 2019. Vol. 163. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.114880>.
8. Kim H., Yu S., Oh J., Kim K., Lee J., Moniruzzaman M., Kim H. K., Yun S. Nitrate contamination and subsequent hydrogeochemical processes of shallow groundwater in agro-livestock farming districts in South Korea. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2019. Vol. 273. P. 50-61. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.12.010>.
9. Lototska O.V., Prokopov V.O. Assessment of the risk of the consumption of drinking water with the increased content of nitrates for the health of the people of the Ternopil Region. *Environment & Health*. 2018. № 4. С. 20-24. <https://doi.org/10.32402/dovkil2018.04.020>.
10. Parvizishad M, Dalvand A, Mahvi A H, Goodarzi F. A Review of Adverse Effects and Benefits of Nitrate and Nitrite in Drinking Water and Food on Human Health, *Health Scope*. 2017. Vol. 6. No 3. e14164. [doi: 10.5812/jhealthscope.14164](https://doi.org/10.5812/jhealthscope.14164).
11. Qasemi, M., Farhang, M., Biglari, H. *et al.* Health risk assessments due to nitrate levels in drinking water in villages of Azadshahr, northeastern Iran. *Environ Earth Sci*. 2018. Vol. 77. 782 (<https://doi.org/10.1007/s12665-018-7973-6>).
12. Новоград-Волинська районна рада: офіційний сайт. URL: <http://nv-rayrada.zt.gov.ua/index.php/pro-raion/zagalna-kharakteristika>.
13. Головне управління статистики у Житомирській області. URL: <http://www.zt.ukrstat.gov.ua>.
14. Feng, W., Wang, C., Lei, X., Wang, H., & Zhang, X. Distribution of Nitrate Content in Groundwater and Evaluation of Potential Health Risks: A Case Study of Rural Areas in Northern China. *International journal of environmental research and public health*, 2020. Vol. 17. No 24. 9390. <https://doi.org/10.3390/ijerph17249390>.
15. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Р 2.1.10.1920-04. Москва: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 143 с.
16. Валерко Р. А., Герасимчук Л. О. Органічне сільське господарство як фактор впливу на вміст нітратів у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання сільських населених пунктів. *Екологічні науки*. 2020. №3(30). С. 124–128. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.3-30.21>.
17. Про затвердження Державних санітарних норм та правил "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" (ДСанПіН 2.2.4-171-10: МОЗ України; Наказ, Норми, Правила від 12.05.2010 № 400 / МОЗ України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10>.

18. Валерко Р. А., Герасимчук Л. О., Зозуля В. М. Оцінка ризику споживання питної води з підвищеним вмістом нітратів на здоров'я населення Житомирської об'єднаної територіальної громади. *Екологічні науки*. 2021. № 3 (36). С. 137-141. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.3-36.22>.
19. Hu Y., You M., Liu G., Dong Zh. Distribution and potential health risk of nitrate in centralized groundwater sources of Wanbei Plain, Central China. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*. 2021. Vol.70. No 5. 684–695. <https://doi.org/10.2166/aqua.2021.156>.

Стаття надійшла до редакції 30.08.2021

Статтю рекомендовано до друку 12.10.2021

R. A. VALERKO, Ph.D. (Agriculture),

Associate Professor of Department of General Ecology

e-mail: valerko_ruslana@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4716-0100>

Polissia National University, Saryj blvd., 7, 10008, Zhytomyr, Ukraine

NITRATE CONTENT IN GROUNDWATER AND ASSESSMENT OF POTENTIAL RISKS FOR HEALTH OF THE RURAL POPULATION IN NOVOGRAD-VOLYN RAION ZHYTOMYR DISTRICT

Purpose. Investigate the content of nitrates in drinking water from sources of decentralized water supply in rural areas of the newly enlarged Novograd-Volynsky district of Zhytomyr region and assess the potential risks for different categories of the local population from constant consumption of water with high nitrate content.

Methods. Field, laboratory-analytical, statistical.

Results. It was found that the most polluted is the drinking water of private wells located in the former Yemilchyn district, which is now a part of the Novograd-Volyn district, where all samples were found to exceed the concentration of nitrates, and their average content was 99.04 mg/dm³. In general, 57.5% of the selected drinking water samples of the enlarged district were found to exceed the level of nitrates, and their average concentration in the whole district was 67.86 mg/dm³. The largest excess of nitrates in water in 7.9 times was found in a private well in the village of Kamyanka, Barashivka territorial community. It is proved that the risk index due to drinking water consumption for children is 1.8 times higher than for adults. The risk at the maximum content of nitrates for children is set at a high level, and for adults - at an average, and at an average content of nitrates in drinking water, the risk for children is set at a medium level, and for adults - at a low level.

Conclusions. It has been shown that the overall risk of nitrate intake in both routes is approximately equal to the health risk due to drinking water consumption. In the overall risk, the share of non-carcinogenic risk due to drinking water consumption was 99.5%, which is much higher than in contact with the skin. This indicates that nitrates from groundwater enter the human body mainly with drinking water, so it is necessary to constantly monitor their content in drinking water.

KEY WORDS: Novograd-Volynskyi district, rural settlements, drinking water, nitrates, health, risk index

References

1. Romanchuk, L. D., Valerko, R. A., Herasymchuk, L. O. & Kravchuk, M. M. (2021). Assessment of the impact of organic agriculture on nitrate content in drinking water in rural settlements of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, 11(2), 17-26. https://doi.org/10.15421/2021_71
2. US Environmental Protection Agency. Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories (2012). US EPA; Washington, DC, USA. 2–6.
3. Zhang, Q., Sun, J., Liu, J., Huang, G., Lu, Ch. & Zhang, Y. (2015). Driving mechanism and sources of groundwater nitrate contamination in the rapidly urbanized region of south China. *Journal of Contaminant Hydrology*, 182, 221-230. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2015.09.009>.
4. Goni, I. B., Sheriff, B. M., Kolo, A. M. & Ibrahim, M. B. (2019). Assessment of nitrate concentrations in the shallow groundwater aquifer of Maiduguri and environs, Northeastern Nigeria. *Scientific African.*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00089>.
5. Palapa, N. V. (2015). Assessment of rural residential areas by drinking water quality. *Agroecological journal*, 4, 41-47 (in Ukrainian).
6. Czekaj, J., Jakóbczyk-Karpierz, S., Rubin, H., Sitek, S. & Witkowski, A. J. (2016). Identification of nitrate sources in groundwater and potential impact on drinking water reservoir (Goczałkowice reservoir, Poland). *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 94, 35-46. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2015.11.005>.
7. He, B., He, J., Wang, L., Zhang, X. & Bi, E. (2019). Effect of hydrogeological conditions and surface loads on shallow groundwater nitrate pollution in the Shaying River Basin: Based on least squares surface fitting model. *Water Research*, 163. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.114880>.
8. Kim, H., Yu, S., Oh, J., Kim, K., Lee, J., Moniruzzaman, M., Kim, H. K. & Yun, S. (2019). Nitrate contamination and subsequent hydrogeochemical processes of shallow groundwater in agro-livestock farming districts in South Korea. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 273, 50-61. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.12.010>.

9. Lototska, O.V. & Prokopov, V.O. (2018). Assessment of the risk of the consumption of drinking water with the increased content of nitrates for the health of the people of the Ternopil Region. *Environment & Health*, 4, 20-24. <https://doi.org/10.32402/dovkil2018.04.020>.
10. Parvizishad, M, Dalvand, A, Mahvi, A H. & Goodarzi, F. A. (2017). Review of Adverse Effects and Benefits of Nitrate and Nitrite in Drinking Water and Food on Human Health. *Health Scope.*, 6(3), e14164. <https://doi.org/10.5812/jhealthscope.14164>
11. Mehdi Qasemi, Mansoureh Farhang, Hamed Biglari, Mojtaba Afsharnia, Afsaneh Ojrati, Fatemeh Khani, Mohammad Samiee & Ahmad Zarei (2018). Health risk assessments due to nitrate levels in drinking water in villages of Azadshahr, northeastern Iran. *Environ Earth Sci.*, 77, 782. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7973-6>.
12. Novograd-Volyn district council: official site. Retrieved from <http://nv-rayrada.zt.gov.ua/index.php/pro-raion/zagalna-kharakteristika>
13. Main Department of Statistics in Zhytomyr Oblast. Retrieved from <http://www.zt.ukrstat.gov.ua>
14. Feng, W., Wang, C., Lei, X., Wang, H., & Zhang, X. (2020). Distribution of Nitrate Content in Groundwater and Evaluation of Potential Health Risks: A Case Study of Rural Areas in Northern China. *International journal of environmental research and public health.*, 17(24), 9390. <https://doi.org/10.3390/ijerph17249390>.
15. Manual on Risk Assessment for the Health of the Population under Effect of Chemical Substances Contaminating the Environment: Manual P 2.1.10.1920-04]. Retrieved from https://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/46/46715/index.php (in Russian).
16. Valerko, R. A. & Herasymchuk, L. O. (2020). Organic agriculture as a factor influencing the content of nitrates in drinking water sources of decentralized water supply of rural settlements. *Environmental sciences*, 3(30), 124-128. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.3-30.21> (in Ukrainian).
17. Verkhovna Rada of Ukraine. (2010). On approval of the State Sanitary Rules and Regulations "Hygienic Requirements to Drinking Water Intended for Human Consumption" (DSanPiN 2.2.4-171-10). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10>
18. Valerko, R.A., Herasymchuk, L.O. & Zozulya, V.M. (2021). Risk assessment of drinking water consumption with high nitrate content on the health of the population of the Zhytomyr united territorial community. *Environmental sciences*, 3 (36), 137-141. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.3-36.22> (in Ukrainian).
19. Hu, Y., You, M., Liu, G. & Dong, Zh. Distribution and potential health risk of nitrate in centralized groundwater sources of Wanbei Plain, Central China. (2021). *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua.*, 70 (5), 684–695. <https://doi.org/10.2166/aqua.2021.156>

The article was received by the editors 30.08.2021

The article is recommended for printing 12.10.2021

Р. А. ВАЛЕРКО, канд. с.-г. наук, доц.,
доцент кафедры общей экологии

e-mail: valerko_ruslana@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4716-0100>

Полесский национальный университет, бульвар Старый, 7, г. Житомир, 10008, Украина

СОДЕРЖАНИЕ НИТРАТОВ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ И ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ РИСКОВ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ СЕЛЬСКОГО НАСЕЛЕНИЯ НОВОГРАД-ВОЛЫНСКОГО РАЙОНА ЖИТОМИРСКОЙ ОБЛАСТИ

Цель. Исследовать содержание нитратов в воде источников нецентрализованного водоснабжения и оценить потенциальные риски для разных категорий местного населения.

Методы. Полевые, лабораторно-аналитические, статистические.

Результаты. Установлено, что наиболее загрязнена питьевая вода частных колодцев, находящихся на территории бывшего Емильчинского района, который входит в состав Новоград-Волынского района, где во всех образцах было обнаружено превышение содержания нитратов, а среднее их содержание составило 99,04 мг/дм³. В целом у 57,5 % отобранных образцов питьевой воды укрупненного района было выявлено превышение уровня нитратов, а средняя концентрация на территории всего района составила 67,86 мг/дм³. Наибольшее превышение нитратов в воде в 7,9 раза обнаружено в частном колодце села Каменка Барашивской территориальной общины. Доказано, что индекс риска вследствие потребления питьевой воды для детей больше, чем для взрослых в 1,8 раза. Риск при максимальном содержании нитратов для детей установлен на высоком уровне, а для взрослых – на среднем, а при среднем содержании нитратов в воде риск для детей установлен на среднем уровне, а для взрослых – на низком уровне.

Выводы. Доказано, что общий риск поступления нитратов при обоих путях воздействия приблизительно равен риску здоровья вследствие потребления питьевой воды. В общем риске доля неканцерогенного риска в результате потребления питьевой воды составила 99,5%, что намного выше, чем при контакте с кожей. Это свидетельствует о том, что нитраты из подземных вод в организм человека поступают в основном с питьевой водой, поэтому необходим постоянный мониторинг их содержания в питьевой воде.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Новоград-Волынский район, сельские населенные пункты, питьевая вода, нитраты, здоровье, индекс риска

Статья поступила в редакцию 30.08.2021

Статью рекомендовано к печати 12.10.2021

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-09>
УДК (UDC): 504+613.2

А. А. ІВАШУРА¹, канд. с.-г. наук, доц.,
доцент кафедри технологій та безпеки життєдіяльності
e-mail: ivashura.a@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0022-7489>
О. М. БОРИСЕНКО¹, канд. техн. наук, доц.,
доцент кафедри технологій та безпеки життєдіяльності
e-mail: onborisenko@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2746-6797>
¹Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця
проспект Науки 9а, м. Харків, 61166, Україна

АНАЛІЗ ЕКОУСВІДОМЛЕНОЇ ХАРЧОВОЇ ПОВЕДІНКИ ЯК ФАКТОРА ФОРМУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ СТАЛОСТІ

Мета. Аналіз досліджень з пошуку заходів і критеріїв для особистісного позитивного впливу на навколишнє середовище шляхом усвідомленого споживання продуктів харчування для досягнення екологічної сталості.

Методи. Методологічною основою роботи є системний аналіз.

Результати. Обґрунтовано особистісного позитивного впливу на навколишнє середовище шляхом усвідомленого вибору продуктів харчування в своєму раціоні. Доведено можливість об'єднання двох понять: екологічність і здорове усвідомлене харчування. Наголошено на важливості та необхідності розробки заходів, спрямованих на підвищення сталої здорової харчової поведінки споживачів за допомогою впливу на їх переконання і розширюючи поняття "здоров'я", "навколишнє середовище". Розкрито взаємозв'язок між ними. На сьогоднішній день складно засвоїти всі розрізнені підходи, і необхідні більш узгоджені зусилля для міждисциплінарних досліджень.

Висновки. Створена теоретична основа для майбутніх досліджень в галузі сталого усвідомленого харчування в Україні та звернуто увагу на фактори, які впливають на споживачів за вибором сталого споживання продуктів харчування, які входять до комплексу заходів для вирішення екологічних проблем. Новий підхід до емпіричного обговорення ситуаційних і ринкових чинників додасть такий необхідний імпульс дослідженням в цих напрямках.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: харчування, здоров'я, екосистема, сталий розвиток, стала поведінка

Як цитувати: Івашура А. А., Борисенко О. М. Аналіз екоусвідомленої харчової поведінки як фактора формування екологічної сталості. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2021. Вип. 25. С. 92-100. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-09>

In cites: Ivashura, A. A., & Borysenko, O. M. (2021). Analysis of eco-conscious food behavior as a factor of ecological sustainability formation. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Ecology»*, (25), 92-100. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-09>

Вступ

Сучасне економічне зростання залежить від можливостей екосистеми відновлювати використані ресурси і поглинати вироблені відходи. Тому просування України до зеленої економіки, екологічно-сталого економічного розвитку, має базуватися на балансі соціально-економічних завдань [1].

Розробка концепції екологічного світогляду, яка відповідала б соціально-екологічним завданням, передбачає побудову адек-

ватної моделі поведінки. Це своєрідна матриця, на основі якої можна було б створювати дієві екоосвітні проекти, в тому числі для підвищення соціально-екологічної відповідальності нашої молоді, яка є основним споживачем в суспільстві [2].

Сільське господарство в його нинішній формі одночасно є рушійною силою глобальних екологічних змін і жертвою мінливих екологічних умов. Складні проблеми безпеки

© Івашура А. А., Борисенко О. М., 2021



[This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0.](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

та якості продуктів харчування, можливо, вирішувати тільки застосовуючи комплексний підхід, оскільки вони є одним з головних умов збереження здоров'я і життя людини, вимагає численних зусиль для свого рішення, як з боку вчених, так і з боку виробників, різних служб, державних органів і, звичайно ж, споживачів [3].

У 1994 році на симпозіумі в Осло запропонували робоче визначення екологічно сталого споживання харчових продуктів. Це використання харчових продуктів, "які відповідають основним потребам і покращують якість життя, зводячи до мінімуму використання природних ресурсів, токсичних матеріалів, викидів відходів та забруднюючих речовин протягом життєвого циклу, щоб не наразити на небезпеку потреби майбутніх поколінь" [4].

Наш вибір продуктів харчування обумовлює більше 60 % світових викидів парникових газів і приблизно 50 – 80 % в загальній кількості споживаних ресурсів [5].

Приблизно половина досліджень, які оцінюють вплив на навколишнє середовище моделей харчування, розглядали вплив на клімат шляхом виділення парникових газів: метану і вуглекислого газу. Оскільки даних по Україні немає, то ми можемо тільки припустити ситуацію за аналогією з іншими країнами де проводилися подібні дослідження. Можливо припустити, що, вуглецевий слід харчових продуктів в порівнянні з іншими основними категоріями товарів і послуг в Україні помітно вище, ніж в індустріально орієнтованих країнах [6]. У Китаї і Індії, наприклад, продукти харчування є джерелом 35 – 47 % вироблених парникових газів від загальної їх кількості в цих країнах. У Сполучених Штатах, в країнах Європейського Союзу пов'язані з харчовими продуктами парникові гази становлять приблизно 8 – 19 % від їх загальної кількості [7]. На транспорт (наземний і повітряний транспорт), навпаки, доводиться 19 – 34 % від загальної кількості викидів парникових газів в США і Євросоюзі, але тільки 8 – 9 % від загальної кількості в Китаї і Індії.

З огляду на те, що на частку парникових газів, безпосередньо не пов'язаних з харчовими продуктами, припадає понад 80 % загальних викидів у всьому світі [6], а зміни в моделях харчування серед населення відбуваються дуже повільно, потенціал скорочення викидів парникових газів в розвинених країнах зберігається більше в таких секторах,

як транспорт і промисловість. Але не варто забувати про все більш зростаючий цивілізаційний аспект де різноманітність у харчуванні залежить саме від тривалого транспортування і переробки продуктів харчування. Екологізація і усвідомлення харчових переваг може внести величезні корективи в ці цифри. Адже зрозуміло, що переважна кількість транспортних компаній і промислових виробництв задіяно саме в продовольчій сфері [8].

Простіше кажучи: глобальні продовольчі системи не є стійкими. В переосмисленні потребують не тільки способи виробництва їжі, але і самі харчові переваги.

Усвідомлення екологічних проблем споживачами впливає на персональну мотивацію в питаннях підтримки доброго здоров'я, високої якості життя та в питаннях збереження природи, як в даний час, так і для майбутніх поколінь. Це мислення сприяє підвищенню попиту на органічні продукти харчування і вибору екологічно-дружніх товарів. Воно стимулює вибір між покупкою, орендою або обміном товарами, і має суттєвий вплив на корпоративні цінності підприємств, включає ефективне управління ресурсами компанії, соціальну відповідальність, повагу до природи і всього живого.

Глобальні цілі із здорового харчування та сталого виробництва продуктів для своєї реалізації отримують все більшу підтримку серед населення і особливо його найактивнішої категорії – молоді.

В даний час харчування як і раніше розглядається у вузькому медичному напрямі як основа здоров'я і важлива частина активного довголіття. Однак, сьогодні необхідно поглянути на цю тему більш комплексно, з огляду на нові виклики і реальності. Сучасні рекомендації щодо здорового способу життя повинні включати в себе і турботу про навколишнє середовище в якому живе людина, і на яку здійснює прямий і опосередкований вплив, в тому числі і через вибір продуктів харчування [9]. На жаль сьогодні майже не існує докладних рекомендацій щодо включення ідеї стійкості під час вибору продуктів харчування. [10].

У 2014 році відбулася 2-а Міжнародна конференція ФАО по харчуванню, яка присвятила 9 з 60 своїх рекомендацій діям щодо забезпечення стійких продовольчих систем, які сприяють здоровому харчуванню [11]. Але, не дивлячись на це, сьогодні всі вжиті спроби включити принципи сталого та здорового харчування в рекомендації по

харчуванню відчувають тиск з приводу встановлення торгових бар'єрів, пов'язаних з наданням переваги продуктам харчування місцевого виробництва або продуктам, що відповідають додатковим стандартам, таким як справедлива торгівля [12].

В даний час все більше дослідників у своїх роботах намагається сформулювати цілісний погляд на сталу здорову харчову поведінку [13 – 15]. Однак, передусім наукові роботи концентруються на певних "додаткових показниках" стійкості у харчуванні. Наприклад: органічних продуктах [16 – 17] або місцевих або традиційних продуктах харчування [18 – 19] або етичних закупівель продуктів харчування [20], або пропагування споживання білка на основі комах [21], або проблемах заміщення або скорочення споживання м'яса [22 – 23].

Більшість досліджень стосуються споживчого попиту на всі ці товари, але майже

немає робіт, де розглядається вплив таких переваг на навколишнє середовище [13].

В Україні сьогодні немає досліджень щодо впливу переваг споживачів у виборі продуктів харчування з урахуванням взаємодії з навколишнім середовищем. Раціональне харчування розглядається тільки в колишніх рамках – збереження здоров'я. І хоча самі продукти класифікуються на органічні і безпечні, однак зв'язок саме з впливом на навколишнє середовище нашого вибору не досліджується. Тому дане дослідження є актуальним, так як тільки комплексний підхід допоможе зробити ще один крок на шляху до збереження природи, а значить і нашого здоров'я в цілому.

Мета – аналіз досліджень з пошуку заходів і критеріїв для особистісного позитивного впливу на навколишнє середовище шляхом усвідомленого споживання продуктів харчування для досягнення екологічної сталості.

Методика

Статті, включені в цей огляд, ідентифіковані за допомогою звичайних методів пошуку за ключовими словами, бібліографіям статей що опубліковані та пошуком в журналах, які пов'язані зі сталим розвитком. Включені тільки ті дослідження, де вивчався вплив усвідомлення екологічного вибору

продуктів харчування на рішення проблем у навколишньому природному середовищі. Використовувалися всі доступні літературні джерела станом на 2021 р. Враховуючі міждисциплінарний характер огляду, можливо упущення деяких джерел.

Результати та обговорення

Прагнення до раціонального харчування неможливо розглядати без урахування його впливу на навколишнє середовище. Для цього важливо розробити механізми впровадження таких стійких звичок в суспільство [24]. Так, наприклад, італійський "Барілла Центр Продовольства і Харчування" працює під слоганом: "єдине здоров'я: новий підхід до харчування" розробив і постійно вдосконалює модель подвійної піраміди для з'єднання продовольчої культури, здоров'я та клімату, щоб проілюструвати взаємозв'язок між здоровим харчуванням і впливом на навколишнє середовище [25]. Модель візуалізує дві піраміди. Перша – заснована на конкретній, властивій кожному регіону дієті, а друга – перевернута, яка перекласифікує продукти відповідно до їх впливу на навколишнє середовище. На жаль, немає такої піраміди яка зумовлює українські харчові особливості.

Наскільки нам відомо, не існує і шкали вимірювання екоусвідомленої сталої харчової

поведінки людей. Хоча окремо існують затверджені шкали вимірювання інтересу до здорового харчування [26]; індексу здорового харчування [27]; зеленого харчування [28] і сталості харчових практик [29].

У країнах з високим рівнем доходів усвідомлений підхід до зміни споживання продуктів харчування в екологічну сторону вважається важливою умовою досягнення глобальних цілей в області сталого розвитку. В інших країнах, наприклад Україні з цього питання немає ніяких досліджень і це в країні, яка стрімко розвиває ринок органічного сільського господарства, екологічної освіти та екоініціатив. Назріло завдання з'ясувати, розробити і застосувати різні поведінкові стратегії, спрямовані на заохочення екологічно сталого споживання продуктів харчування в Україні.

Завдання переконати молодих людей в Україні змінити свої звички вибору продуктів харчування або готових страв в сторону більш

екологічно сталих моделей споживання харчових продуктів стає все більш затребуваним. Харчові переваги, як відомо, важко змінити, оскільки вони є центральним аспектом способу життя людей і їх соціально-культурного середовища. Однак психологічна пластичність молодих людей вселяє оптимізм. Багато молодих людей вже позитивно відносяться до екологічно безпечних продуктів харчування, але ще належить подолати помітний розрив між розумінням і фактичним споживанням більш зелених продуктів харчування.

Споживання їжі може і повинно бути направлено на мінімізацію негативного впливу на навколишнє середовище, але необхідно враховувати, що люди також вживають харчові продукти для втамування голоду, досягнення чуттєвої насолоди, позначення соціального статусу і так далі.

Харчові переваги, засновані на багатьох складових грають центральну роль в людській культурі, а споживання їжі виходить далеко за рамки своєї початкової основної функціональної ролі як засобу виживання. Загальновідомо, що харчові звички важко змінити, оскільки вони є центральним аспектом способу життя людей в їх соціокультурному середовищі. Сучасний вибір продуктів харчування також піддається впливу маркетингових зусиль харчових компаній, які впливають на зміни в дієтичних нормах, в перевагах категорій продуктів і напоїв (на рівні населення) і в культурних цінностях, що лежать в основі харчової поведінки. Комплексна складність рішень, пов'язаних з харчуванням, робить їх сприйнятливими до широкого спектру соціальних, когнітивних, афективних і екологічних впливів. Тому, зусилля з просування усвідомлення екологічного споживання продуктів харчування конкурує з іншими різноманітними факторами, що впливають на вибір споживача.

Споживачі потрапляють в інформаційну пастку і свої вчинки часто вже не координують зі своїми поглядами і переконаннями. Так, висловлюючи занепокоєння з приводу навколишнього середовища, вони не приймають ніяких дій для особистої участі в їх вирішенні. При позитивному ставленні споживачів до екологічної сталості існує помітний розрив між сприятливим ставленням і фактичною покупкою екологічно чистих продуктів харчування, тобто розрив між ставленням і поведінкою [30].

Наукові дослідження механізму взаємодії стійких моделей харчування з екосистемами і використанням природних ресурсів

нашої планети з урахуванням екологічних, економічних, соціальних та культурних аспектів, тільки починаються в Україні. Підходи до оцінки сталості різних моделей харчування сильно розрізняються, включаючи відмінності в механізмі досліджень і визначених показниках. Невідповідності в методах і припущеннях для оцінки категорій впливу і відсутність національних стандартних баз даних по оцінці життєздатності харчових продуктів на ринку ускладнюють порівняння перехресних досліджень [31].

Якість дієт в еко-моделях харчування є фундаментальною вимогою під час оцінки впливу споживаних продуктів на навколишнє середовище в рамках сталого екологічного вибору [32]. В ідеальному варіанті харчова цінність, яка важлива для здоров'я людини буде оцінюватися в одиницях, що враховують і вплив на навколишнє середовище [33]. Це допомогло б забезпечити подальший ступінь інтеграції дієти і стійкості. Отримали б можливість реалістично оцінювати компроміси, яких неможливо уникнути як на рівні особистого споживання, так і у всіх задіяних галузях.

Цілісний підхід до міждисциплінарних досліджень щодо концепції сталого екологічного харчування може допомогти виявити пробіли в дослідженнях, встановити пріоритети досліджень, систематично вивчати компроміси і, в кінцевому підсумку, уникнути непередбачених наслідків для здоров'я планети і населення.

В першу чергу необхідно створити цілеспрямовану структуру для розуміння і впливу на стійкий екологічний вибір продуктів харчування [34]. Для цього необхідно провести дослідження і отримати відповіді, в тому числі на такі питання:

1. Якими методами, сигналами, втручаннями та наскільки активізація особистих цінностей зміцнює усвідомлену екологічну поведінку?

2. Які переваги, що не пов'язані з турботою про довкілля, можуть виступати в якості потенційних причин для сталого екологічного споживання в області харчування?

3. Як ефективно подати екологічно значимі якості продуктів, ефективно оцінити їх стійкість, крім їх органічного походження?

Ці дослідження необхідні для цілеспрямованої роботи з майбутніми екоспоживачами і особливо, з молоддю у віці від 18 до 29 років. Молодь з одного боку не настільки педантично ставиться до свого здоров'я та екологічного майбутнього, але з іншого боку саме молодь

сьогодні є авангардом численних екозмін в Україні. За результатами загальнонаціонального опитування "Українське покоління Z: цінності та орієнтири" Українська молодь разом із середнім класом і мешканцями великих міст найбільше тяжіє до цінностей самовираження, і, отже, є потенційним агентом змін [35].

В аналізі 53 експериментальних досліджень про фактори, що впливають на екоповедінку і готовність до покупок екопродуктів, які були проведені з 2000 по 2014 р.р., виявлені різні поширені мотиви і чинники, що впливають на прийняття рішень щодо купівлі екологічно чистих продуктів, і представлені

дані щодо мотивів у поведінці під час покупки екологічно чистих товарів. Всі ці фактори діляться на показники, що унікальні для конкретної особи, яка приймає рішення, і показники, які вважаються ситуативними за своєю природою. Соціальний вплив, турбота споживачів про навколишнє середовище, довіра, інформація і знання стали основними визначальними факторами екологічної поведінки споживачів, які роблять екопокупки. Можливо, частково ці дані можна застосувати і до усвідомлення сталого споживання продуктів харчування (рис. 1, 2, 3) [36].

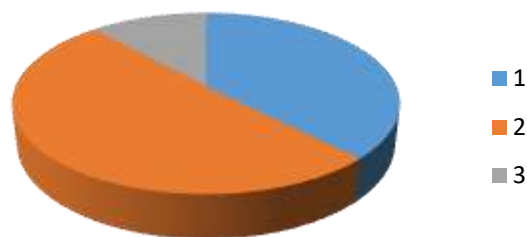


Рис. 1 – Фактори, що впливають на покупки екопродуктів: 1 – готовність платити і зробити стійкий вибір; 2 – екоповедінка і екоосвіта; 3 – 1 та 2 фактори разом

Fig. 1 – Factors affecting purchases of eco-products: 1 – willingness to pay and make sustainable choices; 2 – eco-behavior and eco-awareness; 3 – factors Nr 1 and Nr 2 together

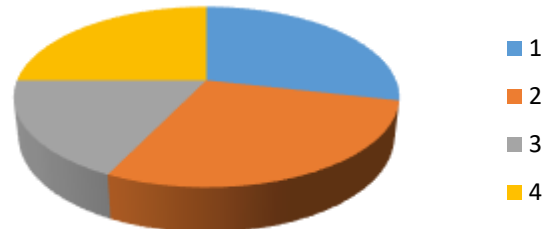


Рис. 2 – Фактори, що впливають на екоосвіту і екоповедінку покупців: 1 – соціальний вплив; 2 – знання, інформація, екоосвіта; 3 – турбота про навколишнє середовище; 4 – довіра до екопродуктів

Fig. 2 – Factors influencing eco-awareness and eco-behavior of buyers: 1 – social influence; 2 – knowledge, information, eco-education; 3 – care for the environment; 4 – trust in eco-products

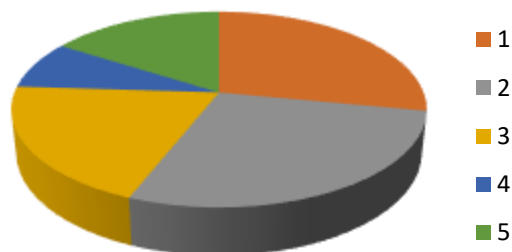


Рис. 3 – Фактори, що впливають на готовність купувати екопродукти. 1 – соціальний вплив; 2 – знання, інформація, екоосвіта; 3 – турбота про навколишнє середовище; 4 – усвідомлення свого особистого вкладу; 5 – довіра до екопродуктів.

Fig. 3 – Factors affecting the willingness to buy eco-products. 1 – social impact; 2 – knowledge, information, eco-education; 3 – care for the environment; 4 – awareness of their personal contribution; 5 – trust in eco-products

Потреби в дослідженнях охоплюють безліч областей, включаючи сільське господарство, продукти харчування, зоотехнію і ветеринарію, показники навколишнього середовища, соціальні та економічні питання

[37]. Багато досліджень вказують на необхідність більш повної оцінки екологічних, соціальних та економічних наслідків харчових продуктів і дієт на навколишнє середовище.

Висновки

Неможливо думати про збереження здоров'я окремої людини без захисту "здоров'я всієї планети". Сьогодні цей факт, підтверджений численними дослідженнями, підтверджений концепцією "Єдиного здоров'я", в якій здоров'я людини, тварин і навколишнього середовища взаємопов'язане.

Обґрунтована теоретична основа для майбутніх досліджень в області усвідомленого харчування в Україні та приділено увагу на фактори, які впливають на споживачів за вибором сталого споживання продуктів харчування, які входять до комплексу заходів щодо вирішення екологічних проблем.

Позначені і інтегровані в цільову структуру механізми, що лежать в основі споживання і пояснюється усвідомлений вибір або відсутність такого.

Запропонована теоретична основа визначає різного роду перешкоди усвідомленого споживання продуктів харчування і послідовні кроки, які необхідно зробити споживачам щодо участі в процесі усвідомлення екоспоживання. Споживачі зобов'язані не тільки позитивно оцінювати навколишнє середовище, розрізняти невідповідність між бажаним і фактичним станом навколишнього середовища, але і робити дії, щоб зменшити спостерігаєму невідповідність, мати намір брати участь в діях які, як очікується, наблизять їх до позитивного впливу не тільки на своє здоров'я, вживаючи "правильні продукти", а й надавати посилюючий позитивний вплив в цілому на навколишнє середовище.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів в щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Список використаної літератури

1. Ivashura A. A., Borysenko O. M., Logvinkov S. M. Sustainability problems with ecologically balanced production growth. *Ecology, environmental protection and balanced environmental management: education – science – production – 2021*: Abstracts of XXIV International scientific conference, Kharkiv, April 29-30 2021p. Kharkiv, 2021. P. 11-12. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/13193/1>
2. Назарук М. М. Соціоприродний підхід до екологічної освіти та виховання. *Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна серія "Екологія"*. 2020. Вип. 22. С. 100-106. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-22-10>
3. Некос А. Н., Шуліка Б. О., Мальчук О. В. Екологічна безпека та якість рослинних продуктів харчування (на прикладі винограду). *Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна серія "Екологія"*. 2020. Вип. 22. С. 32-42. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-22-03>
4. Oslo Roundtable on Sustainable Production and Consumption (1994). The Imperative of Sustainable Production and Consumption. URL: <https://enb.iisd.org/consume/oslo004.html>
5. Ivanova D., Stadler K., Steen-Olsen K., Wood R., Vita G., Tukker A., Hertwich E. Environmental impact assessment of household consumption. *Journal of Industrial Ecology*. 2016. Vol. 20. P. 526-536. DOI: <https://doi.org/10.1111/jiec.12371>
6. Hertwich E. G., Peters G. P. Carbon footprint of nations: a global, trade-linked analysis. *Environmental Science and Technology*. 2009. Vol. 43. P. 6414-6420. DOI: <https://doi.org/10.1021/es803496a>
7. Tukker A., Goldbohm R. A., de Koning A., Verheijden M., Kleijn R., Wolf O., Pérez-Domínguez I., Rueda-Cantuche J. M. Environmental impacts of changes to healthier diets in Europe. *Ecological Economics*. 2011. Vol. 70. P. 1776-1788. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.05.001>
8. Івашура А. А., Винник О. П. *Еколого-економічний світогляд і традиції природокористування в українській культурі* : монографія. Харків : ХНЕУ, 2008. 91 с.
9. Friel S., Barosh L., Lawrence M. Towards healthy and sustainable food consumption: An Australian case study. *Public Health Nutrition*. 2014. Vol. 17. P. 1156-1166. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1368980013001523>
10. Seed B. Sustainability in the Qatar national dietary guidelines, among the first to incorporate sustainability principles. *Public Health Nutrition*. 2015. Vol. 18. 2303-2310. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1368980014002110>

11. ICN2 Second International Conference on Nutrition. 2014. URL: <http://www.fao.org/about/meetings/icn2/documents/en/>
12. Dixon J., Isaacs B. Why sustainable and "nutritionally correct" food is not on the agenda: Western Sydney, the moral arts of everyday life and public policy. *Food Policy*. 2013. Vol. 43. P. 67-76. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2013.08.010>
13. Jones A., Hoey L., Blesh J., Miller L., Green A., Shapiro L. A Systematic Review of the Measurement of Sustainable Diets. *Advances in Nutrition*. 2016. Vol. 7. P. 641-664. DOI: <https://doi.org/10.3945/an.115.011015>
14. Macdiarmid J., Douglas F., Campbell J. Eating like there's no tomorrow: Public awareness of the environmental impact of food and reluctance to eat less meat as part of a sustainable diet. *Appetite*. 2016. Vol. 96. P. 487-493. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.10.011>
15. Van Loo E., Hoefkens C., Verbeke W. Healthy, sustainable and plant-based eating: Perceived (mis)match and involvement-based consumer segments as targets for future policy. *Food Policy*. 2017. Vol. 69. P. 46-57. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2017.03.001>
16. Pieniak Z., Aertsens J., Verbeke W. Subjective and objective knowledge as determinants of organic vegetables consumption. *Food Quality and Preference*. 2010. Vol. 21. P. 581-588. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2010.03.004>
17. Lee H. J., Hwang J. The driving role of consumers' perceived credence attributes in organic food purchase decisions: A comparison of two groups of consumers. *Food Quality and Preference*. 2016. Vol. 54. P. 141-151. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.07.011>
18. Pieniak Z., Verbeke W., Vanhonacker F., Guerrero L., Hersleth M. Association between traditional food consumption and motives for food choice in six European countries. *Appetite*. 2009. Vol. 53. P. 101-108. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2009.05.019>
19. Duell R. Is "local food" Sustainable? Localism, social justice, equity and sustainable food futures. *New Zealand Sociology*. 2013. Vol. 28. P. 123-145. URL: <http://hdl.handle.net/10072/60413>
20. Meise J. N., Rudolph T., Kenning P., Phillips D. M. Feed them facts: Value perceptions and consumer use of sustainability-related product information. *Journal of Retailing and Consumer Services*. 2014. Vol. 21. P. 510-519. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2014.03.013>
21. Megido R. C., Gierts C., Blecker C., Brostaux Y., Haubrugé É., Alabi, T., Francis, F. Consumer acceptance of insect-based alternative meat products in Western countries. *Food Quality and Preference*. 2016. Vol. 52. P. 237-243. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.05.004>
22. Dagevos H., Voordouw J. Sustainability and meat consumption: Is reduction realistic? *Sustainability: Science, Practice and Policy*. 2013. Vol. 9. P. 1031-1207. DOI: <https://doi.org/10.1080/15487733.2013.11908115>
23. Graça J., Oliveira A., Manuela M. Meat, beyond the plate. Data-driven hypotheses for understanding consumer willingness to adopt a more plant-based diet. *Appetite*. 2015. Vol. 90. P. 80-90. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.02.037>
24. Hallström E., Davis J., Woodhouse A., Sonesson U. Using dietary quality scores to assess sustainability of food products and human diets: A systematic review. *Ecological Indicators*. 2018. Vol. 93. P. 219-230. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.071>
25. Barilla Center for Food and Nutrition Healthy and Sustainable Diets. Recommendation for People. URL: <https://www.barillacfn.com/it/magazine/cibo-e-sostenibilita/cultura-salute-e-clima-la-doppia-piramide-si-aggiorna>
26. Pieniak Z., Verbeke W., Scholderer J., Brunso K., Olsen S. O. Impact of consumers' health beliefs, involvement and risk perception on fish consumption: A study in five European countries. *British Food Journal*. 2008. Vol. 110. P. 898-915. DOI: <https://doi.org/10.1108/00070700810900602>
27. Freedman L. S., Guenther P. M., Krebs-Smith S. M., Kott P. S. A population's mean healthy eating index-2005 scores are best estimated by the score of the population ratio when one 24-hour recall is available. *Journal of Nutrition*. 2008. Vol. 138. P. 1725-1729. DOI: <https://doi.org/10.1093/jn/138.9.1725>
28. Weller K. E., Greene G. W., Redding C. A., Paiva A. L., Lofgren I., Nash J. T., Kobayashi H. Development and validation of green eating behaviors, stage of change, decisional balance and self-efficacy scales in college students. *Nutrition Education and Behavior*. 2014. Vol. 46. P. 324-333. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jneb.2014.01.002>
29. Tobler C., HM Visschers V., Siegrist M. Eating green. Consumers' willingness to adopt ecological food consumption behaviors. *Appetite*. 2011. Vol. 57. P. 674-682. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2011.08.010>
30. Aschemann-Witzel J., Zielke S. Can't buy me green? A review of consumer perceptions of and behavior toward the price of organic food. *Journal of Consumer Affairs*. 2017. Vol. 51. P. 211-251. DOI: <https://doi.org/10.1111/joca.12092>
31. Auestad N., Fulgoni V. L. What Current Literature Tells Us about Sustainable Diets: Emerging Research Linking Dietary Patterns, Environmental Sustainability, and Economics. *Advances in Nutrition*, 2015. Vol. 6(1). P. 19-36. DOI: <https://doi.org/10.3945/an.114.005694>
32. Vieux F., Soler L. G., Touazi D., Darmon N. High nutritional quality is not associated with low greenhouse gas emissions in self-selected diets of French adults. *American Journal of Clinical Nutrition*. 2013. Vol. 97. P. 569-583. DOI: <https://doi.org/10.3945/ajcn.112.035105>

33. Heller M. C., Keoleian G. A., Willett W. C. Toward a life cycle-based, diet-level framework for food environmental impact and nutritional quality assessment. *Environmental Science and Technology*. 2013. Vol. 47. P. 12632-12647. DOI: <https://doi.org/10.1021/es4025113>
34. Vermeir I., Weijters B., De Houwer J., Geuens M., Slabbinck H., Spruyt A., Kerckhove A., Lippevelde W., Steur H., Verbeke W. Environmentally Sustainable Food Consumption: A Review and Research Agenda From a Goal-Directed Perspective. *Frontiers in Psychology*. 2020. Vol. 11. P. 1-24. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01603>
35. Українське покоління Z: цінності та орієнтири. 2017. URL: <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/ukraine/13941.pdf>
36. Joshi Y., Rahman Z. Factors Affecting Green Purchase Behaviour and Future Research Directions. *International Strategic Management Review*. 2015. Vol. 3(1-2). P. 128-143. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ism.2015.04.001>
37. Ivashura A., Borysenko O., Logvinkov S. Environmental safety in the context of ecological and economic models of territorial development. *Екологічна безпека – сучасні напрямки та перспективи вищої освіти: матеріали I міжнар. інтернет-конф., м. Харків, 25 лют. 2021 р., Харків, 2021. С. 147-148. URL: <http://repository.hneu.edu.ua/handle/123456789/25331>*

Стаття надійшла до редакції 04.08.2021

Стаття рекомендована до друку 12.10.2021

A. A. IVASHURA¹, Ph.D. (Agriculture),

Associate Professor of the Department of Technology and Vital Activity

e-mail: ivashura.a@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0022-7489>

O. M. BORYSENKO¹ Ph.D. (Technical),

Associate Professor of the Department of Technology and Vital Activity

e-mail: onborisenko@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2746-6797>

¹Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Science, Ave., 9A, Kharkiv, 61166, Ukraine

ANALYSIS OF ECO-CONSCIOUS FOOD BEHAVIOR AS A FACTOR OF ECOLOGICAL SUSTAINABILITY FORMATION

Purpose. Analysis of research on the search for measures and criteria for a positive personal impact on the environment through the conscious consumption of food in order to achieve environmental sustainability.

Methods. The methodological basis of the work is system analysis.

Results. It was substantiated a personal positive impact on the environment through a conscious choice of food products in their diet. The possibility of combining two concepts has been proven: environmental friendliness and healthy conscious nutrition. The importance and necessity of developing measures aimed at increasing the sustainable healthy eating behavior of consumers by influencing their beliefs and expanding the concepts of "health" and "environment" was emphasized. The relationship between them is revealed. Today, it is difficult to internalize all the disparate approaches, and a more concerted effort is needed for interdisciplinary research.

Conclusions. A theoretical basis for future research in the field of sustainable conscious nutrition in Ukraine has been created and attention is paid to the factors influencing consumers to choose sustainable food consumption included in a set of measures to solve environmental problems. A new approach to empirical discussion of situational and market factors will provide much needed impetus to research in these areas.

KEYWORDS: nutrition, health, ecosystem, sustainable development, sustainable behavior

References

1. Ivashura, A. A., Borysenko, O. M. & Logvinkov, S. M. (2021). Sustainability problems with ecologically balanced production growth. *Proceedings of the XXIV International scientific conference: Ecology, environmental protection and balanced environmental management: education – science – production – 2021*, Kharkiv, 2021, April 29-30, (pp. 11-12). Kharkiv: V.N. Karazin Kharkiv National University. Retrieved from <http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/13193/1>
2. Nazaruk, M. M. (2020). Socio-natural approach to the environmental education and training. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University Series «Ecology»*, (22), 100-106. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-22-10> (In Ukrainian).
3. Nekos, A. N., Shulika, B. O. & Malchuk, O. V. (2020). Environmental safety and quality of plant food (example of grapes). *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University Series «Ecology»*, (22), 32-42. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-22-03> (In Ukrainian).
4. Oslo Roundtable on Sustainable Production and Consumption (1994). The Imperative of Sustainable Production and Consumption. Retrieved from <https://enb.iisd.org/consume/oslo004.html>

5. Ivanova, D., Stadler, K., Steen-Olsen, K., Wood, R., Vita, G., Tukker, A. & Hertwich, E. (2016). Environmental impact assessment of household consumption. *Journal of Industrial Ecology*, 20, 526-536. <https://doi.org/10.1111/jiec.12371>
6. Hertwich, E. G. & Peters, G. P. (2009). Carbon footprint of nations: a global, trade-linked analysis. *Environmental Science and Technology*, 43, 6414-6420. <https://doi.org/10.1021/es803496a>
7. Tukker, A., Goldbohm, R. A., de Koning, A., Verheijden, M., Kleijn, R., Wolf, O., Pérez-Domínguez, I. & Rueda-Cantuche, J. M. (2011). Environmental impacts of changes to healthier diets in Europe. *Ecological Economics*, 70, 1776-1788. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.05.001>
8. Ivashura, A. A. & Vynnyk, O. P. (2008). Ecological and economic worldview and traditions of nature management in Ukrainian culture: monograph. S. KUZNETS KhNUE. (In Ukrainian).
9. Friel, S., Barosh, L. & Lawrence, M. (2014). Towards healthy and sustainable food consumption: An Australian case study. *Public Health Nutrition*, 17, 1156-1166. <https://doi.org/10.1017/S1368980013001523>
10. Seed, B. (2015). Sustainability in the Qatar national dietary guidelines, among the first to incorporate sustainability principles. *Public Health Nutrition*, 18, 2303-2310. <https://doi.org/10.1017/S1368980014002110>
11. ICN2 Second International Conference on Nutrition. (2014). Retrieved from <http://www.fao.org/about/meetings/icn2/documents/en/>
12. Dixon, J. & Isaacs, B. (2013). Why sustainable and "nutritionally correct" food is not on the agenda: Western Sydney, the moral arts of everyday life and public policy. *Food Policy*, 43, 67-76. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2013.08.010>
13. Jones, A., Hoey, L., Blesh, J., Miller, L., Green, A. & Shapiro, L. (2016). A Systematic Review of the Measurement of Sustainable Diets. *Advances in Nutrition*, 7, 641-664. <https://doi.org/10.3945/an.115.011015>
14. Macdiarmid, J., Douglas, F. & Campbell, J. (2016). Eating like there's no tomorrow: Public awareness of the environmental impact of food and reluctance to eat less meat as part of a sustainable diet. *Appetite*, 96, 487-493. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.10.011>
15. Van Loo, E., Hoefkens, C. & Verbeke, W. (2017). Healthy, sustainable and plant-based eating: Perceived (mis)match and involvement-based consumer segments as targets for future policy. *Food Policy*, 69, 46-57. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2017.03.001>
16. Pieniak, Z., Aertsens, J. & Verbeke, W. (2010). Subjective and objective knowledge as determinants of organic vegetables consumption. *Food Quality and Preference*, 21, 581-588. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2010.03.004>
17. Lee, H. J. & Hwang, J. (2016). The driving role of consumers' perceived credence attributes in organic food purchase decisions: A comparison of two groups of consumers. *Food Quality and Preference*, 54, 141-151. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.07.011>
18. Pieniak, Z., Verbeke, W., Vanhonacker, F., Guerrero, L. & Hersleth, M. (2009). Association between traditional food consumption and motives for food choice in six European countries. *Appetite*, 53, 101-108. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2009.05.019>
19. Duell, R. (2013). Is "local food" Sustainable? Localism, social justice, equity and sustainable food futures. *New Zealand Sociology*, 28, 123-145. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10072/60413>
20. Meise, J. N., Rudolph, T., Kenning, P. & Phillips, D. M. (2014). Feed them facts: Value perceptions and consumer use of sustainability-related product information. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 21, 510-519. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2014.03.013>
21. Megido, R. C., Gierts, C., Blecker, C., Brostaux, Y., Haubruge, É., Alabi, T. & Francis, F. (2016). Consumer acceptance of insect-based alternative meat products in Western countries. *Food Quality and Preference*, 52, 237-243. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.05.004>
22. Dagevos, H. & Voordouw, J. (2013). Sustainability and meat consumption: Is reduction realistic? *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 9, 1031-1207. <https://doi.org/10.1080/15487733.2013.11908115>
23. Graça, J., Oliveira, A. & Manuela, M. (2015). Meat, beyond the plate. Data-driven hypotheses for understanding consumer willingness to adopt a more plant-based diet. *Appetite*, 90, 80-90. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.02.037>
24. Hallström, E., Davis, J., Woodhouse, A. & Sonesson, U. (2018). Using dietary quality scores to assess sustainability of food products and human diets: A systematic review. *Ecological Indicators*, 93, 219-230. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.071>
25. Barilla Center for Food and Nutrition Healthy and Sustainable Diets. Recommendation for People. Retrieved from <https://www.barillaefn.com/it/magazine/cibo-e-sostenibilita/cultura-salute-e-clima-la-doppia-piramide-si-aggiorna>
26. Pieniak, Z., Verbeke, W., Scholderer, J., Brunso, K. & Olsen, S. O. (2008). Impact of consumers' health beliefs, involvement and risk perception on fish consumption: A study in five European countries. *British Food Journal*, 110, 898-915. <https://doi.org/10.1108/00070700810900602>
27. Freedman, L. S., Guenther, P. M., Krebs-Smith, S. M. & Kott, P. S. (2008). A population's mean healthy eating index-2005 scores are best estimated by the score of the population ratio when one 24-hour recall is available. *Journal of Nutrition*, 138, 1725-1729. <https://doi.org/10.1093/jn/138.9.1725>
28. Weller, K. E., Greene, G. W., Redding, C. A., Paiva, A. L., Lofgren, I., Nash, J. T. & Kobayashi, H. (2014). Development and validation of green eating behaviors, stage of change, decisional balance and self-efficacy scales in college students. *Nutrition Education and Behavior*, 46, 324-333. <https://doi.org/10.1016/j.jneb.2014.01.002>

29. Tobler, C., HM Visschers, V. & Siegrist, M. (2011). Eating green. Consumers' willingness to adopt ecological food consumption behaviors. *Appetite*, 57, 674-682. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2011.08.010>
30. Aschemann-Witzel, J. & Zielke, S. (2017). Can't buy me green? A review of consumer perceptions of and behavior toward the price of organic food. *Journal of Consumer Affairs*, 51, 211-251. <https://doi.org/10.1111/joca.12092>
31. Auestad, N. & Fulgoni, V. L. (2015). What Current Literature Tells Us about Sustainable Diets: Emerging Research Linking Dietary Patterns, Environmental Sustainability, and Economics. *Advances in Nutrition*, 6(1), 19-36. <https://doi.org/10.3945/an.114.005694>
32. Vieux, F., Soler, L. G., Touazi, D. & Darmon, N. (2013). High nutritional quality is not associated with low greenhouse gas emissions in self-selected diets of French adults. *American Journal of Clinical Nutrition*, 97, 569-583. <https://doi.org/10.3945/ajcn.112.035105>
33. Heller, M. C., Keoleian, G. A. & Willett, W. C. (2013). Toward a life cycle-based, diet-level framework for food environmental impact and nutritional quality assessment. *Environmental Science and Technology*, 47, 12632-12647. <https://doi.org/10.1021/es4025113>
34. Vermeir, I., Weijters, B., De Houwer, J., Geuens, M., Slabbinck, H., Spruyt, A., Kerckhove, A., Lippevelde, W., Steur, H. & Verbeke, W. (2020). Environmentally Sustainable Food Consumption: A Review and Research Agenda From a Goal-Directed Perspective. *Frontiers in Psychology*, 11, 1-24. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01603>
35. Ukrainian generation Z: values and guidelines. (2017). Retrieved from <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/ukraine/13941.pdf> (In Ukrainian).
36. Joshi, Y. & Rahman, Z. (2015). Factors Affecting Green Purchase Behaviour and Future Research Directions. *International Strategic Management Review*, 3(1-2), 128-143. <https://doi.org/10.1016/j.ism.2015.04.001>
37. Ivashura, A., Borysenko, O. & Logvinkov, S. (2021). Environmental safety in the context of ecological and economic models of territorial development. Proceedings of the I International Internet-conf.: *Environmental safety-advanced directions and ways for higher education development*, Kharkiv, 2021 February 25, (pp. 147-148). Retrieved from <http://repository.hneu.edu.ua/handle/123456789/25331> (In Ukrainian).

The article was received by the editors 04.08.2021
The article is recommended for printing 12.10.2021

А. А. ИВАШУРА¹, канд. с.-х. наук, доц.,
доцент кафедры технологий и безопасности жизнедеятельности
e-mail: ivashura.a@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0022-7489>

О. Н. БОРИСЕНКО¹, канд. техн. наук, доц.,
доцент кафедры технологий и безопасности жизнедеятельности
e-mail: onborisenko@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2746-6797>

¹Харьковский национальный экономический университет имени Семена Кузнеця,
проспект Науки 9а, м. Харьков, 61166, Украина

АНАЛИЗ ЭКОСОЗНАННОГО ПИЩЕВОГО ПОВЕДЕНИЯ КАК ФАКТОРА ФОРМИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Цель. Анализ исследований по поиску мероприятий и критериев для личностного положительного воздействия на окружающую среду путем осознанного потребления продуктов питания для достижения экологической устойчивости.

Методы. Методологической основой работы является системный анализ.

Результаты. Обосновано личностное положительное воздействие на окружающую среду осознанного выбора продуктов питания в своем рационе. Доказана возможность объединения двух понятий: экологичность и здоровое осознанное питание. Подчеркнута важность и необходимость разработки мероприятий, направленных на повышение устойчивого здорового пищевого поведения потребителей посредством влияния на их убеждения и расширяя понятия "здоровье", "окружающая среда". Раскрыта взаимосвязь между ними. На сегодняшний день сложно усвоить все разрозненные подходы, и необходимы более согласованные усилия для междисциплинарных исследований.

Выводы. Создана теоретическая основа для будущих исследований в области устойчивого осознанного питания в Украине и обращено внимание на факторы влияющие на потребителей по выбору устойчивого потребления продуктов питания входящих в комплекс мероприятий для решения экологических проблем. Новый подход к эмпирическому обсуждению ситуационных и рыночных факторов придаст столь необходимый импульс исследованиям в этих направлениях.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: питание, здоровье, экосистема, устойчивое развитие, устойчивое поведение

Статья поступила в редакцию 04.08.2021
Статья рекомендована к печати 12.10.2021

БІОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-10>

УДК (UDC): 595.44-542 (477.85+477.87)

М. М. ФЕДОРЯК¹, д-р біол. наук, проф., завідувач кафедри екології та біомоніторингу
e-mail: m.fedorjak@chnu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6200-1012>

Л. І. ТИМОЧКО¹, канд. біол. наук, асистент кафедри молекулярної генетики та біотехнології
e-mail: l.tymochko@chnu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5200-8141>

О. О. ШКРОБАНЕЦЬ¹, аспірант кафедри екології та біомоніторингу
e-mail: shkrobanets.oleksandr@chnu.edu.ua

А. В. ЖУК¹, канд. біол. наук, асистент кафедри екології та біомоніторингу
e-mail: a.zhuk@chnu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0405-8037>

О. Ф. ДЕЛІ², канд. біол. наук, старший викладач кафедри зоології
e-mail: delijka@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2301-8759>

²Одеський національний університет імені І. І. Мечникова

вул. Дворянська, 2, м. Одеса, Україна 65082

С. С. ПОДОБІВСЬКИЙ³, канд. біол. наук, доц., доцент кафедри медичної біології
e-mail: podobivskiy@tdmu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6667-1478>

³ДВНЗ «Тернопільський державний медичний університет імені І. Я. Горбачевського МОЗ України»
майдан Волі, 1, м. Тернопіль, Україна 46001

В. Г. МИКОЛАЙЧУК⁴, канд. біол. наук, доц.,
доцент кафедри рослинництва та садово-паркового господарства
e-mail: mikolaychuk7@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0110-6539>

⁴Миколаївський національний аграрний університет

вул. Георгія Гонгадзе, 9, м. Миколаїв, Україна 54020

О. О. КАЛИНИЧЕНКО⁵, канд. с.-г. наук, доц.,
завідувач кафедри технології переробки продукції тваринництва
e-mail: kalynychenko.o.o@dsau.dp.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5391-0281>

⁵Дніпровський державний аграрно-економічний університет

вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, Україна 49600

У. В. ЛЕГЕТА¹, канд. біол. наук, доц., доцент кафедри екології та біомоніторингу
e-mail: u.legeta@chnu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7121-7344>

О. Д. ЗАРОЧЕНЦЕВА¹, канд. біол. наук, асистент кафедри екології та біомоніторингу
e-mail: o.zarochentseva@chnu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2451-5223>

¹Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

вул. Коцюбинського, 2, м. Чернівці, Україна 58012

РЕЗУЛЬТАТИ ЩОРІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ЗИМОВИХ ВТРАТ БДЖОЛИНИХ КОЛОНІЙ В УКРАЇНІ: ЗИМІВЛЯ 2019–2020 рр.

Мета. Оцінити втрати колоній медоносних бджіл (*Apis mellifera* Linnaeus, 1758) в Україні після зимівлі 2019–2020 рр. у розрізі міжнародного моніторингу організації COLOSS.

Методи. Аналіз результатів анкетування бджолярів України щодо успішності зимівлі колоній *A. mellifera* на їхніх пасіках у 2019–2020 рр. з використанням анкети, розробленої координаторами міжнародного моніторингу COLOSS. Використано єдині підходи щодо збору даних та їх статистичної обробки. Проаналізовано валідні протоколи від 702 респондентів із п'яти фізико-географічних зон України.

Результати. Рівень загальних втрат бджолиних колоній в Україні після зимівлі 2019–2020 рр. становив 9,29 %, при цьому 5,41 % загинули, 2,19 % втрачено через нерозв'язні проблеми з матками, а 1,69 % колоній – через негативні природні явища. Загальні втрати у степовій зоні України становили 16,08 %, достовірно переважаючи відповідний показник у зоні широколистяних лісів (6,73 %), лісостеповій зоні (8,94 %) та Українських

Карпатах (8,14 %). Загиблі колонії найчастіше характеризувались наявністю мертвих бджіл у вулику чи перед ним (31,3 %), а також невідомими для бджолярів симптомами (37,3 %). Більшість бджолярів України (50,7 %) не вбачали різниці в зимівлі колоній із новою чи старою маткою. Серед хімічних препаратів більшість респондентів надавали перевагу засобам на основі амітразу (обкурювання – 50,8 %, в пластинках – 15,7 %) та флуметрину (20,0 %). Статистично підтверджено зниження рівня зимових втрат при застосуванні амітразу (обкурювання), тоді як щодо мурашиної кислотою (довгостроково) виявлено зворотну залежність.

Висновки. Рівень загальних втрат бджолиних колоній в Україні після зимівлі 2019-2020 рр. дещо знизився у порівнянні з минулорічним (11,18 %) та позаминулорічним (11,26 %) показниками, а також виявився майже вдвічі нижчим середнього значення на просторах міжнародного моніторингу (18,1 %) (Gray, 2021). Найбільші загальні втрати відмічено у степовій зоні України (після зимівлі 2018-2019 рр. – у лісостеповій та зоні мішаних лісів), а найменші – в Українських Карпатах. Підтверджено достовірно більші втрати на малих пасіках (12,66 %) порівняно із середніми та великими (9,48 % та 6,52 % відповідно). Зросла кількість бджолярів, які лікують колонії від вароозу (90,6 %, після зимівлі 2018-2019 – 77,8 %), при цьому усі з них попередньо моніторять рівень закліщованості.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *Apis mellifera*, втрати колоній, моніторинг, смертність, бджільництво

Як цитувати: Федоряк М. М., Тимочко Л. І., Шкробанець О. О., Жук А. В., Делі О. Ф., Подобівський С. С., Миколайчук В. Г., Калиниченко О. О., Легета У. В., Зароченцева О. Д. Результати щорічного моніторингу зимових втрат бджолиних колоній в Україні: зимівля 2019–2020 рр. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2021. Вип. 25. С. 111-124. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-10>

In cites: Fedoriak, M. M., Tymochko, L. I., Shkrobanets, O. O., Zhuk, A. V., Deli, O. F., Podobivskiy, S. S., Mikolaychuk, V. G., Kalynychenko, O. O., Leheta, U. V., & Zarochentseva, O. D. (2021). Results of annual monitoring of honey bee colony winter losses in Ukraine: winter 2019–2020. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Ecology»*, (25), 111-124. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-10>

Вступ

Серед доволі чисельної групи антофілів медоносні бджоли (*Apis mellifera* Linnaeus, 1758) мають найбільше економічне значення. Поряд із неоціненою роллю в екосистемах, вони надають широкий спектр ресурсних екосистемних послуг, виробляючи такі цінні продукти бджільництва як мед, пилок, бджолиний віск, прополіс, бджолина отрута, маточне молочко. Крім того, об'єктами торгівлі є бджолині колонії та так звані бджолопакекти [1; 2]. Значні втрати бджолиних колоній, які спостерігаються останніми десятиліттями по всьому світу, викликають велике занепокоєння не лише серед бджолярів, але й у науковій спільноті. У міжнародних наукових виданнях щорічно публікується від 24 до 54 праць, присвячених дослідженню причин таких втрат [3]. Особливо велику увагу привертають чинники, які впливають на успішність зимівлі бджіл [4–8].

У помірному кліматі зима є критичним періодом для колоній медоносних бджіл. За відсутності фуражування колонія покладається на накопичені у вулику запаси їжі для можливості терморегуляції та вирощування розплоду. Зимові втрати колоній внаслідок їх загибелі або серйозних проблем з матками значно різняться між окремими роками та регіонами [9]. Для пояснення цих втрат висунуто кілька гіпотез, але причини наразі чітко не визначені [10]. Багато факторів, включаючи вплив

різних патогенів, одноманітність джерел їжі, проблеми управління, вплив агрохімікатів та різноманітних стресових факторів, діють ізольовано або, частіше, у поєднанні, що призводить до підвищення смертності окремих бджіл або керованих бджолиних колоній [10–13].

Україна – держава з історично розвинутою галуззю бджільництва. Останніми роками вона входить до країн-лідерів за обсягами виробництва і постачання високоякісного меду та іншої бджільницької продукції. Зокрема, як свідчать дані Державної митної служби, у 2020 році Україна експортувала понад 81 тис. тонн меду натурального, що на 44 % більше, ніж у 2019 році (55,7 тис. тон) і є рекордним показником за весь час. Близько 82,5 % експорту меду припадає на країни ЄС. Так, основними імпортерами українського меду за 2020 рік є Польща – 25,9 %, на \$36,16 млн (+69 % до показника 2019 року); Німеччина – 18,7 %, на \$26,1 млн (+13 %); Бельгія – 9,7 %, на \$13,61 млн (+18,6 %); США – 9,7 %, на 13,59 млн (+91 %); Литва – 5,2 %, на 7,2 млн (-15,4 %) [14]. Проте, в Україні проблема втрат бджолиних колоній під час зимівлі постає не менш гостро. З метою дослідження їх масштабів у 2015 році Україна долучилася до щорічного Міжнародного моніторингу, координованого Міжнародною некомерційною асоціацією з вивчення медоносних бджіл COLOSS.

моніторингу показник загальних втрат після зимівлі 2019–2020 рр. становив 9,29 % (95 % CI 8,4; 10,28), що у 1,2 рази нижче

минулорічного (11,18 % (95 % CI 9,93; 12,56)) та позаминулорічного (11,26 % (95 % CI 10,0; 12,6)) [16,18].

Таблиця 1

Основні показники втрат бджолиних колоній після зимівлі 2019-2020 рр.
за фізико-географічними зонами України

Table 1

The main indicators of losses of bee colonies after winter in 2019-2020
by physical and geographical zones of Ukraine

Фізико-географ. зона	Кількість респондентів	Кількість колоній перед зимівлею	Смертність (95 % CI)	Проблеми із бджолиними матками (95 % CI)	Втрати через негативні природні явища (95 % CI)	Загальні втрати (95 % CI)
Мішаних лісів	43	1698	5,13 [2,58; 9,93]	3,06 [#] [2; 4,66]	1,0* [0,38; 2,59]	9,19 [5,62; 14,66]
Широко-листяних лісів	241	14567	3,91* [2,97; 5,15]	1,62* [1,32; 1,99]	1,2* [0,8; 1,76]	6,73* [5,56; 8,11]
Лісостепова	107	5714	5,08 [3,45; 7,41]	2,29* [1,74; 3,01]	1,57 [0,81; 3,04]	8,94* [6,61; 11,98]
Степова	110	7952	8,75 [6,78; 11,23]	3,8 [3,02; 4,77]	3,53 [2,71; 4,59]	16,08 [13,51; 19,04]
Українські Карпати	201	12587	5,22 [3,98; 6,81]	1,68* [1,3; 2,18]	1,24 [0,77; 1,97]	8,14* [6,63; 9,96]
Загалом	702	42518	5,41 [4,71; 6,21]	2,19 [1,95; 2,47]	1,69 [1,39; 2,05]	9,29 [8,4; 10,28]

Примітка: * – різниця достовірна з відповідним показником в степовій зоні ($p \leq 0,05$);

– різниця достовірна з відповідним показником в зоні широколистяних лісів ($p \leq 0,05$).

Note: * – the difference is significant with the corresponding indicator in the steppe zone ($p \leq 0.05$);

– the difference is significant with the corresponding indicator in the area of deciduous forests ($p \leq 0.05$).

Зауважимо, що поняття «загальні втрати» включає суму часток колоній, що загинули впродовж зими (смертність колоній), втрачених через нерозв'язні проблеми з матками та втрачених через негативні природні явища (пожежі, повені, вандалізм, ведмедів, куниць, дятлів, падіння дерев, задухи від снігу тощо).

Багаторічними дослідженнями на просторах міжнародного моніторингу та в Україні показано, що під час зимового періоду переважна більшість колоній, зазвичай, втрачається через їхню загибель [16, 18–21]. Так, під час аналізованої зимівлі в Україні показник смертності бджолиних колоній становив 5,41 % (95 % CI 4,71; 6,21) (рис. 2) і виявився незначно нижчим від минулорічного (5,95 % (95 % CI 5,13; 6,9)). Частка колоній, втрачених через нерозв'язні проблеми з матками складала 2,19 % (95 % CI 1,95; 2,47), що у 1,5 рази менше порівняно із зимівлею 2018–2019 рр. (3,37 % (95 % CI 2,7; 4,19)). Негативні природні явища стали причиною

втрат 1,69 % (95 % CI 1,39; 2,05) колоній, що увійшли в зиму. Причому, останній показник практично відповідав минулорічному (1,86 % (95 % CI 1,45; 2,37)) [16].

Зазначимо, що показник загальних втрат колоній *A. mellifera* на просторах міжнародного моніторингу становив 18,1 %, суттєво відрізняючись між країнами [5]. Так, про найнижчі втрати повідомили Норвегія (7,4 %) та Ізраїль (8,8 %), а найвище значення зафіксовано в Іспанії (36,5 %). Виходячи з цього, Україну віднесено до регіонів низького ризику.

Смертність бджолиних колоній на території країн-учасниць міжнародного моніторингу становила 10,6 %, що також удвічі перевищувало відповідний показник в Україні. При цьому, найнижчою виявилася смертність колоній у Ізраїлі (2,3 %) та Чеській Республіці (2,7 %), тоді як макси-мальна частка загинувших колоній після зимівлі спостерігалася у Іспанії (25,3 %).

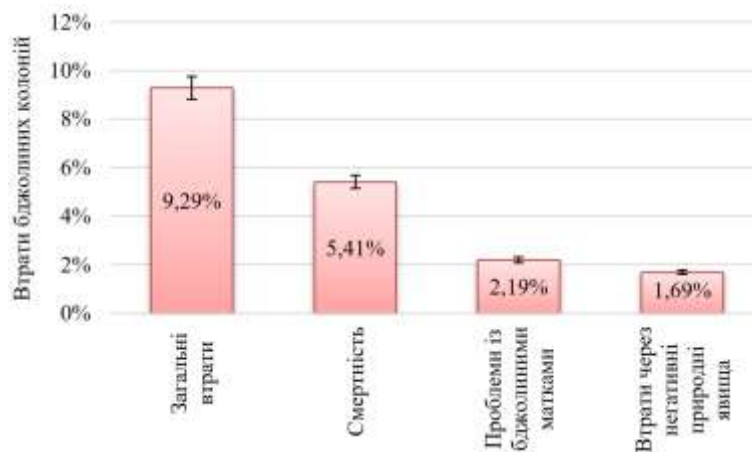


Рис. 2 – Загальні втрати бджолиних колоній в Україні після зимівлі 2019–2020 рр. та їх основні складові

Fig. 2 – Total losses of bee colonies in Ukraine after winter 2019-2020 and their main components

Нерозв'язні проблеми з матками стали причиною втрат 4,9 % бджолиних колоній по всій території країн-учасниць моніторингу. Слід відмітити, що Україна повідомила про найнижче значення даного показника (2,2 %), тоді як максимальний рівень втрат через проблеми з матками зафіксовано у Словенії (21,7 %).

Середній показник втрат через негативні природні явища становив 2,6 %. Причому, респонденти із Словенії абсолютно не відмітили даний пункт втрат (0), натомість Іран вказав на втрату 5,9 % колоній [5].

Становить інтерес порівняння рівня втрат в Україні та в сусідніх країнах. Так, серед країн-учасниць міжнародного моніторингу, які межують з Україною, Польща повідомила про втрату 13,9 % бджолиних колоній, а Румунія, яка вперше долучилася до моніторингу, – про 15,0 % [5].

Як відомо, успішність зимівлі бджолиних колоній визначається комплексом чинників, серед яких інвазованість паразитами, погодні умови, стан колонії перед заходом в зиму, наявність та якість підгодівлі, утеплення, вентиляція, захист вулика від вітру, досвід бджоляра та ін. Ступінь прояву перелічених факторів відрізнятиметься в різних регіонах. У зв'язку з цим, доцільний аналіз показників втрат бджолиних колоній в різних фізико-географічних зонах України. Найвищі загальні втрати встановлено в степовій зоні (16,08 %). При цьому, достовірну різницю виявлено у порівнянні із зоною широколистяних лісів (6,73 %), лісостеповою зоною (8,94 %) та Українськими Карпатами (8,14 %) (рис. 3). Відповідно, у

степовій зоні найвищими виявилися і основні складові показники загальних втрат. Зокрема, рівень смертності бджолиних колоній в степу становив 8,75 %, однак достовірну різницю відмічено лише порівняно з зоною широколистяних лісів (3,91 %). Проблеми із бджолиними матками в степовій зоні (3,8 %) статистично переважали відповідний показник у зонах широколистяних лісів (1,62 %), лісостеповій (2,29 %) та Українських Карпатах (1,68 %), тоді як втрати через негативні природні явища (3,53 %) виявилися істотно вищими лише порівняно з зонами мішаних (1,0 %) та широколистяних лісів (1,2 %) (табл. 1).

Для порівняння зазначимо, що після зимівлі 2018–2019 рр. істотно вищі як загальні втрати, так і показники смертності та фатальних проблем з матками відмічали у лісових зонах: (широколистяних лісів, мішаних лісів) та лісостеповій, натомість у степовій зоні та в Українських Карпатах втрати колоній виявилися найнижчими [16].

Кліматичні умови, що склалися в степовій зоні, найнестабільніші серед усіх фізико-географічних зон України. Зокрема, негативно впливають на зимівлю бджіл різкі перепади температури. Крім того, інтенсивне літнє фуражування може спричинити виснаження робочих особин, внаслідок чого в зимівлю заходить ослаблена колонія. Зазначене вище, можливо, сприяло високим втратам бджолиних колоній в українському степу. Зниженню сили колоній перед їхнім заходом у зиму сприяло і надто спекотне літо 2019 року.



Рис. 3 – Основні показники втрат колоній *A. mellifera* після зимівлі 2019–2020 рр. в різних фізико-географічних зонах України

Fig. 3 – The main indicators of losses of *A. mellifera* colonies after wintering in 2019–2020 in different physical and geographical zones of Ukraine

Традиційно, у анкеті респондентам пропонується обрати характерні ознаки загублених колоній, на основі чого можна припустити ймовірні причини їх смерті (рис. 4). Так, найчастіше наші респонденти вказували на мертвих бджіл у вулику чи перед ним (31,3 %) та на загибель при невідомих для бджоляра симптомах (37,3 %). Найрідше зустрічаються випадки зниклих бджолиних колоній (11,57 %), голодної смерті (7,61 %) та мертвих бджіл за наявності їжі (12,22 %).

Несподіваним результатом виявилася висока частка респондентів, які обрали варіант відповіді про невідомі для них симптоми у мертвих колоній (28,28–44,29 %). Дещо рідше загибель колоній характеризувалась наявністю мертвих бджіл у вулику чи перед ним (21,75–39,94 %). Від 8,05 % до 15,17 % респондентів у різних фізико-географічних зонах України після зимівлі 2019–2020 рр. виявляли відсутність бджіл у вулику. Від 1,00 % до 11,49 % колоній померли з голоду, а від 5,18 % до 17,39 % – загинули за наявності їжі у вулику. Зауважимо, що за результатами попередніх моніторингових років загиблі колонії найчастіше характеризувалися наявністю значної кількості мертвих бджіл у вулику чи перед ним [16, 18, 19, 22]. Обов'язковий розділ анкети містить блок запитань стосовно проблем з матками. Незважаючи на щорічне зниження сумарного показника втрат через фатальні проблеми з матками, більшість респондентів України оцінили проблеми з матками, що виникали впродовж зимівлі

2019–2020 рр. як «такі ж самі» (55,2 %) порівняно з тими, що спостерігалися зазвичай (рис. 5). Про збільшення проблем з матками під час аналізованої зимівлі найчастіше вказували респонденти із зони мішаних лісів (18,6 %) та степової зони (18,2 %). Протилежна ситуація спостерігалась у лісостепу (21,5 %) та Українських Карпатах (19,9 %), де значна частка бджолярів зазначили зниження даного показника.

Крім того з'ясовано, що більшість бджолярів України (50,7 %) не вбачають різниці в зимівлі колоній із старою та з оновленою маткою, тоді як «кращою» зимівлю з новою маткою вважали 29,2 % (рис. 6).

Одноставним виявилось заперечення респондентами того, що колонії з заміненою маткою перезимовують гірше, ніж зі старою (4,8 %). Варто відмітити, що результатами міжнародного моніторингу показано та статистично підтверджено зниження ризику втрати колонії під час зимівлі за наявності в ній молодої матки ($p < 0,001$). Остання обставина вказує на доцільність заміни маток [5].

Галузь бджільництва в Україні розвивається як на професійному, так і на аматорському рівнях. Згідно отриманих нами даних 64,2 % пасічників України утримують малі пасіки (до 50 колоній), 27,8 % – середні (51–150 колоній) та лише 8 % бджолярів – великі (більше 151 колоній). При цьому встановлено обернену залежність між величиною пасіки та рівнем втрат після зимівлі (табл. 2).

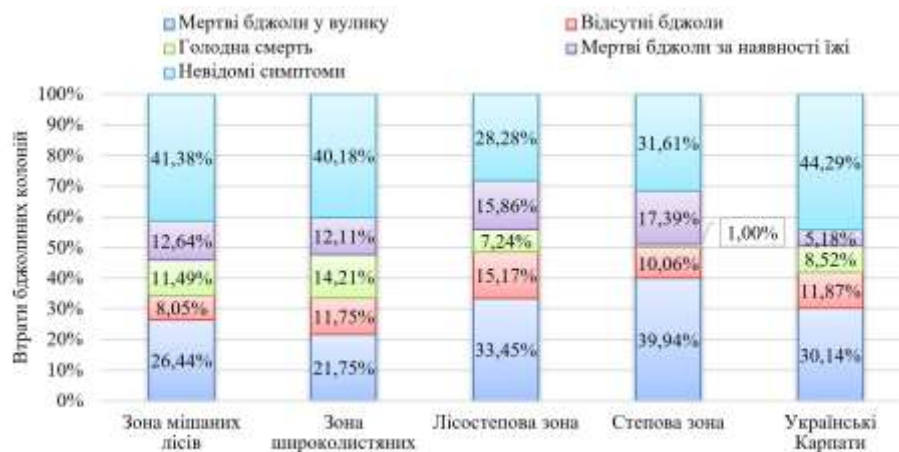


Рис. 4 – Ознаки загибелі бджолиних колоній після зимівлі 2018–2019 рр. за фізико-географічними зонами України

Fig. 4 – Signs of death of bee colonies after wintering in 2018-2019 in the physical and geographical areas of Ukraine



Рис. 5 – Оцінка респондентами ступеня проблем із матками після зимівлі 2019–2020 рр. порівняно з тими, що спостерігалися зазвичай за фізико-географічними зонами України

Fig. 5 – Respondents' assessment of the degree of problems with the uterus after winter in 2019-2020 is compared with those usually observed in the physical-geographical zones of Ukraine

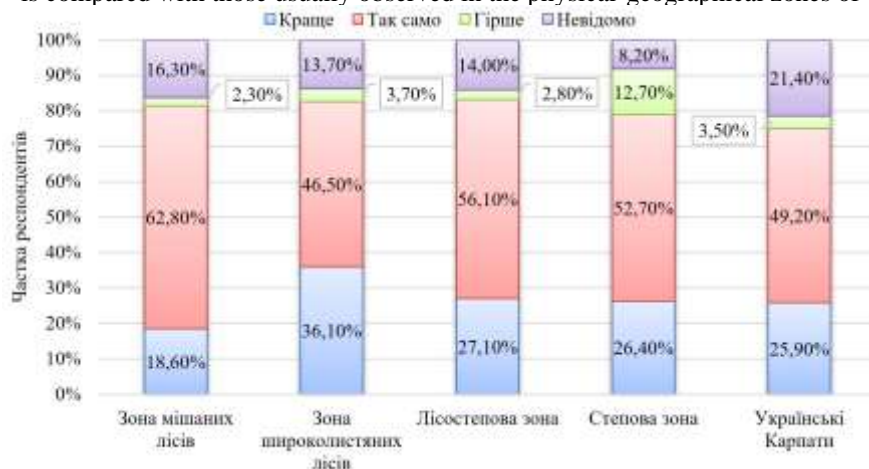


Рис. 6 – Оцінка респондентами успішності зимівлі колоній з новими матками у порівнянні зі старими (незаміненими) за фізико-географічними зонами України після зимівлі 2019–2020 рр.

Fig. 6 – Respondents' assessment of the success of wintering of colonies with new uteri in comparison with the old ones (not replaced) by physical and geographical zones of Ukraine after wintering in 2019-2020

Таблиця 2

Втрати бджолиних колоній на пасіках різного розміру
після зимівлі 2019–2020 рр.

Table 2

Losses of bee colonies in apiaries of different sizes
after the winter in 2019–2020

Показник	Малі пасіки (<50 колоній)	Середні пасіки (51-150 колоній)	Великі пасіки (>151 колоній)
Втрати (95 % CI)	12,66 [11,22; 14,26]	9,48* [8,01; 11,18]	6,52* [4,22; 9,94]

Примітка: * – різниця достовірна при порівнянні з «малими» пасікам ($p \leq 0,05$)

Note: * – the difference is significant when compared with "small" apiaries ($p \leq 0.05$)

Зокрема, показник загальних втрат на малих пасіках становив 12,66 %, на середніх – 9,48 % та 6,52 % – на великих пасіках. Виявлено статистично достовірну різницю втрат бджолиних колоній на малих пасіках порівняно із середніми та великими.

Такі результати співпадають як з нашими дослідженнями попередніх років, так і з висновками зарубіжних праць [4, 5]. Причиною цього, очевидно, є більш професійне та організоване управління промисловими пасіками порівняно з любительськими. Крім того, доведено, що сильніші колонії використовують свої продовольчі запаси більш ефективно, оскільки споживання їжі на одну особину є нижчим порівняно з малими.

Ураження кліщем *Varroa destructor* Anderson & Trueman, 2000) вважається найважливішою причиною зниження життєздатності медоносних бджіл, посилення контролю за цим паразитичним організмом все ще гостро необхідне [14]. Аналіз відповідей респондентів на запитання третього змістовного блоку анкети щодо моніторингу та лікування своїх колоній від вароозу показав, що 90,6 % опитаних бджолярів України повідомили, що практикують обробку своїх колоній від кліща *V. destructor* у період з квітня 2019 р. по квітень 2020 р. При цьому відмічається зростання даного показника порівняно з минулим (+12,8 %) та позаминулим (+7,3 %) роками. Зауважимо, що жоден із респондентів не проводив лікування колоній без попереднього моніторингу наявності та чисельності кліща. Останнє можна вважати позитивною тенденцією, оскільки минулими роками частина пасічників обробляли бджіл від вароозу, не дослідивши попередньо рівень закліщованості. 1,4 % респондентів проводили моніторинг без лікування, а 8,0 % не здійснювали ні моніторингу, ні лікування бджолиних колоній.

Для боротьби з вароозом застосовується низка хімічних препаратів і біотехнічних методів. У анкеті респондентам пропонувалося відмітити біотехнічний метод та/чи діючу речовину хімічного засобу (оскільки на ринках різних країн вони випускаються у вигляді препаратів під різними назвами), які були застосовані ними для лікування вароозу за період з квітня 2019 року до квітня 2020 р (табл. 3). З'ясовано, що більшість бджолярів України впродовж вказаного періоду здійснювали більш ніж одну обробку бджолиних колоній (в окремих випадках – до 37 застосувань).

Значна частина респондентів (28,9 %) за вказаний період одно- чи багаторазово проводили видалення трутневого розплоду.

Серед хімічних препаратів більшість респондентів надавали перевагу засобам на основі амітразу (обкурювання – 50,8 %, в пластинках – 15,7 %) та флуметрину (20 %) (табл. 3), що узгоджується з даними попередніх років. Менш популярним виявився тау-флувалінат (11,9 %), тимол (10,1 %), щавлева кислота (крапельно 9,7 %, випаровування 8,8 %) та мурашина кислота (короткостроково 8,8 %). 8,2 % опитаних застосовували препарати, назви яких не запропоновано у анкеті («інші хімічні препарати»), зокрема комплексні хімічні препарати (наприклад, Біпін-Т (амітраз+тимол), Varasket (амітраз+тау-флувалінат) тощо, а також промислові препарати на основі ефірних олій, наприклад, Екопол.

Порівняно з минулим роком популярність народних методів лікування від вароозу зменшилась (3,6 %, після зимівлі 2018–2019 – 6,65 %). В окремих випадках респонденти застосовували квіти бузини, пижму, хвойну муку як доповнення до певного хімічного препарату. Відмічено зростання популярності теплової обробки бджіл (4,58 %, у 2018–2019 рр. – 6,9 %).

З метою оцінки ефективності противо-роозних заходів проаналізовано рівень втрат бджолиних колоній при застосуванні певного препарату/методу та за його відсутності. Отримані результати продемонстрували достовірну різницю між показниками втрат бджолиних колоній у респондентів, що застосовували амітраз (обкурювання) та мурашину кислоту (довгостроково) проти кліща *V. destructor*, і у бджолярів, що не застосовували дані препарати. Респонденти, які використовували амітраз (обкурювання), зазнали достовірно менших втрат, ніж ті, хто його не застосо-

вував. Протилежну закономірність виявлено у випадку з мурашиною кислотою (довгостроково): респонденти, які її використовували, зазнали достовірно більших втрат ніж ті, які її не застосовували.

Кожного року анкета містить питання, чи бачили бджолярі азійського шершня (*Vespa velutina* Lepeletier, 1836), що поїдає бджіл на пасіці чи його гнізда. В основному бджолярі відмічають тільки шершня звичайного (*Vespa crabro* L., 1758), випадків виявлення азійського шершня в Україні не зафіксовано. Азійський шершень становить серйозну загрозу

Таблиця 3

Найпоширеніші біотехнічні методи та хімічні препарати проти кліща *Varroa destructor* та показники втрат бджолиних колоній за наявності/відсутності їх застосування

Table 3

The most widely used biotechnical methods and chemicals against *Varroa destructor* mite and indicators of bee colony losses in the presence / absence of their use

Препарати та методи	Частка бджолярів, що застосовує препарат, %	Втрати колоній при використанні (95 % CI)	Втрати колоній без використання (95 % CI)
Видалення трутневого роз-плоду	28,9	8,48 [7,01; 10,23]	9,54 [8,47; 10,74]
Гіпертермія	6,9	9,49 [6,3; 14,04]	9,28 [8,36; 10,3]
Інші біотехнічні методи	4,6	10,75 [6,98; 16,18]	9,22 [8,3; 10,23]
Мурашина кислота - короткостроково	8,8	13,1 [9,76; 17,37]	8,9 [7,98; 9,91]
Мурашина кислота - довгостроково	4,2	17,22 [12,15; 23,84]*	9,08 [8,18; 10,07]
Молочна кислота	2,7	11,14 [6,74; 17,87]	9,26 [8,35; 10,26]
Щавлева кислота - крапельно	9,7	11,98 [9,17; 15,49]	9,12 [8,19; 10,16]
Щавлева кислота - випаровування	8,8	11,26 [7,86; 15,86]	9,13 [8,21; 10,14]
Препарати на основі щавлевої кислоти	3,8	14,52 [9,77; 21,05]	9,09 [8,18; 10,09]
Тимол (н-д, Ariguard, Api Life Var)	10,1	12,43 [9,9; 15,49]	8,92 [7,97; 9,97]
Тау-флувалінат (н-д, Aristan)	11,9	8,66 [6,14; 12,08]	9,38 [8,43; 10,42]
Флуметрин (н-д, Байварол)	20	8,81 [7,1; 10,88]	9,41 [8,39; 10,54]
Амітраз (в пластинах, н-д, Arivar)	15,7	8,51 [6,43; 11,19]	9,41 [8,43; 10,48]
Амітраз (обкурювання та аерозолі) (Біпін)	50,8	7,35 [6,23; 8,66]*	11,02 [9,71; 12,49]
Кумафос (н-д, Perizin)	0,6	15,72 [5,72; 36,48]	9,27 [8,37; 10,26]
Кумафос (в пластинах, Checkmite+)	2	13,29 [5,91; 27,23]	9,24 [8,34; 10,22]
Інші хімічні препарати	8,2	8,78 [5,4; 13,97]	9,33 [8,41; 10,34]
Інші методи	3,6	4,08 [1,76; 9,2]	9,58 [8,65; 10,59]

Примітка: * – різниця достовірна при порівнянні із втратами на пасіках, де не застосовували даний препарат чи метод ($p \leq 0,05$).

Note: * – the difference is significant when compared with losses in apiaries where this drug or method was not used ($p \leq 0.05$).

для місцевих запилювачів – домашніх і диких бджіл, ос та інших комах. Вид був випадково завезений з Китаю у інші частини світу. Розвинені колонії *V. velutina* нападають на кормових бджіл, які повертаються у вулики, що спричиняє зменшення кількості бджіл і корму та призводить до колапсу колонії. Шершні також можуть потрапляти у вулики слабких колоній, щоб полювати на розплід та мед.

Висновки

Загальні втрати колоній *A. mellifera* після зимівлі 2019–2020 рр. в Україні становили 9,29 %, зменшившись в 1,2 рази порівняно з минулорічним (11,18 %).

Смертність склала основну частину втрат (5,41 %). Рівень фатальних проблем з матками зменшився у 1,5 рази (2,19 %, після зимівлі 2018-2019 –3,37 %), а показник втрат через негативні природні явища (1,69 %) практично відповідає минулорічному (1,86 %).

У степовій фізико-географічній зоні загальні втрати становили 16,08 %, що достовірно перевищує відповідний показник у зоні широколистяних лісів (6,73 %), лісостеповій (8,94 %) та Українських Карпатах (8,14 %).

Загиблі колонії найчастіше характеризувались незнайомими для бджолярів симптомами (37,3 %) та наявністю мертвих робочих бджіл у вулику чи перед ним (31,3 %).

Більшість бджолярів України (50,7 %) не вбачають різниці в зимівлі колоній із новою чи старою маткою, однак одностаїним

Моніторинг поширення інвазійного виду має вирішальне значення для планування відповідних управлінських дій та заходів щодо обмеження його розповсюдження. Крім того, раннє виявлення *V. velutina* на далеких від фронту поширення виду територіях, таких як Україна, дозволяє швидко реагувати, локалізувати та ліквідувати інвазійний вид [23].

є заперечення того, що колонії з новою маткою зимують гірше, ніж з старою.

Традиційно встановлені достовірно більші втрати бджолиних колоній на малих пасіках (12,66 %) порівняно із середніми та великими (9,48 % та 6,52 % відповідно).

Зросла кількість бджолярів, які лікують колонії від вароозу (90,6 % порівняно із 77,8 %), при цьому, жоден з респондентів не проводили обробку без попереднього моніторингу сімей на наявність кліща. 8 % бджолярів не проводять ні моніторингу, ні лікування. 28,9 % респондентів одно- чи багаторазово проводили видалення трутневого розплоду. Серед хімічних препаратів більшість респондентів надавали перевагу засобам на основі амітазису (обкурювання – 50,8 %, в пластинках – 15,7 %) та флуметрину (20 %). Зниження рівня зимових втрат при застосуванні амітазису (обкурювання) підтверджено статистично. Обернену ситуацію виявлено із мурашиною кислотою (довгостроково), застосування якої виявилось неефективним.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Список використаної літератури

1. García N. L. The Current Situation on the International Honey Market. *Bee World*. 2018. Vol. 95. No 3. P. 89–94. DOI: <https://doi.org/10.1080/0005772X.2018.1483814>
2. Popovska Stojanov D., Dimitrov L., Danihlnk J., Uzunov A., Golubovski M, Andonov S, Brodschneider R. Direct Economic Impact Assessment of Winter Honey bee Colony Losses in Three European Countries. *Agriculture*. 2021. Vol. 11. No 5. 398. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11050398>
3. Havard T., Laurent M., Chauzat M. P. Impact of stressors on honey bees (*Apis mellifera*; Hymenoptera: Apidae): Some guidance for research emerge from a meta-analysis. *Diversity*. 2020. Vol. 12. No 1. 7. DOI: <https://doi.org/10.3390/d12010007>
4. Gray A., Adjlane N., Arab A. et al. Honey bee colony winter loss rates for 35 countries participating in the COLOSS survey for winter 2018–2019, and the effects of a new queen on the risk of colony winter loss. *Journal of Apicultural Research*. 2020. Vol. 59. No 5. P. 744–751. DOI: <https://doi.org/10.1080/00218839.2020.1797272>
5. Gray A., Adjlane N., Arab A., Ballis A., Brusbardis V., Douglas A. B., ... Brodschneider R. Comparative honey bee colony loss rates for 37 countries participating in the COLOSS survey for winter 2019–2020 and some associated risk factors for winter loss. 2021. (у друці)

6. Tang J., Ma C., Shi W., Chen X., Liu Z., Wang H., Chen C. A National Survey of Managed Honey Bee Colony Winter Losses (*Apis mellifera*) in China (2013–2017). *Diversity*. 2020. Vol. 12. No 9. 318. DOI: <https://doi.org/10.3390/d12090318>
7. Becsi B., Formayer H., Brodschneider R. A biophysical approach to assess weather impacts on honey bee colony winter mortality. *Royal Society Open Science*. 2021. Vol. 8. No 9. 210618. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsos.210618>
8. Steinhauer N., Saegerman C. Prioritizing changes in management practices associated with reduced winter honey bee colony losses for US beekeepers. *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 753. 141629. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141629>
9. Morawetz L., Köglberger H., Griesbacher A., Derakhshifar I., Crailsheim K., Brodschneider R., Moosbeckhofer R. Health status of honey bee colonies (*Apis mellifera*) and disease-related risk factors for colony losses in Austria. *PLoS One*. 2019. Vol. 14. No 7. 0219293. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219293>
10. Decourtye A., Mader E., Desneux N. Landscape enhancement of floral resources for honey bees in agro-ecosystems. *Apidologie*. 2010. Vol. 41. P. 264–277. DOI: [10.1051/apido/2010024](https://doi.org/10.1051/apido/2010024)
11. Alburaki M., Cheaib B., Quesnel L., Mercier P.-L., Chagnon M., Derome N. Performance of honeybee colonies located in neonicotinoid-treated and untreated cornfields in Quebec. *Journal of Applied Entomology*. 2017. Vol. 141. No 1-2. P. 112–121. DOI: <https://doi.org/10.1111/jen.12336>
12. Benaets K., Van Geystelen A., Cardoen D., De Smet L., de Graaf D.C., Schoofs L., Larmuseau M.H.D., Brettell L.E., Martin S.J., Wenseleers T. Covert deformed wing virus infections have long-term deleterious effects on honeybee foraging and survival. *Proceedings of the Royal Society B Biological Sciences*. 2017. Vol. 284. 20162149. DOI: <https://dx.doi.org/10.1098/rspb.2016.2149>
13. Goulson D., Nicholls E., Bothas C., Rotheray E.L. Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science*. 2015. Vol. 347. 1255957. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1255957>
14. Berthoud H., Imdorf A., Haueter M., Radloff S., Neumann P. Virus infections and winter losses of honey bee colonies (*Apis mellifera*). *Journal of Apicultural Resources*. 2010. Vol. 49. P. 60–65. DOI: <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.49.1.08>
15. Україна експортувала рекордні обсяги меду. *Укрінформ* : веб-сайт. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3150480-ukraina-eksportovala-rekordni-obsagi-medu.html> (дата звернення 20.09.2021)
16. Федоряк М.М., Тимочко Л.І., Шкробанець О.О. та ін. Результати стандартизованого опитування бджолярів щодо втрат колоній *Apis mellifera* L. в Україні після зимівлі 2018–2019 рр. *Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2020. Вип. 23. С. 124–138. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-23-11>
17. Національний атлас України. Київ : ДНВП «Картографія». 2007. 440 с.
18. Федоряк М. М., Тимочко Л. І., Кульманов О. М. та ін. Результати щорічного моніторингу втрат бджолиних колоній в Україні: зимівля 2017–2018 рр. *Біологічні системи*. 2019. Т. 11. № 1. С. 60–70. URL: <http://apis.chnu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/07/2017-18-v-Ukraini-Fedoryak-ta-in-2019-min.pdf>
19. Федоряк М. М., Тимочко Л. І., Кульманов О. М. та ін. Втрати колоній медоносних бджіл (*Apis mellifera* L.) в Україні за результатами зимівлі 2016–2017 рр. в рамках міжнародного моніторингу *Біологічні системи*. 2018. Т. 10. № 1. С. 37–46.
20. Brodschneider R., Gray A., Van der Zee R. et al. Preliminary analysis of loss rates of honey bee colonies during winter 2015/16 from the COLOSS survey. *Journal of Apicultural Research*. 2016. Vol. 55. No 5. P. 375–378. DOI: <https://doi.org/10.1080/00218839.2016.1260240>
21. Brodschneider R., Gray A., Adjlane N. et al. Multi-country loss rates of honey bee colonies during winter 2016 - 2017 from the COLOSS survey. *Journal of Apicultural Research*. 2018. Vol. 57. No 3. P. 452–457. DOI: <https://doi.org/10.1080/00218839.2018.1460911>
22. Fedoriak M. M., Tymochko L. I., Kulmanov O. M., Volkov R. A., Rudenko S. S. Winter losses of honey bee (*Apis mellifera* L.) colonies in Ukraine (monitoring results of 2015–2016). *Ukrainian Journal of Ecology*. 2017. Vol. 7. No 4. P. 604–613. URL: <https://www.ujecology.com/articles/winter-losses-of-honey-bee-apis-mellifera-l-colonies-in-ukraine-monitoring-results-of-20152016.pdf>
23. Laurino D., Lioy S., Carisio L., Manino A., Porporato M. (2020). *Vespa velutina*: An alien driver of honey bee colony losses. *Diversity*. 2020. Vol. 12. No 1. 5. DOI: <https://doi.org/10.3390/d12010005>

Стаття надійшла до редакції 22.09.2021

Статтю рекомендовано до друку 12.10.2021

- M. M. FEDORIAK**¹, DSc (Biology), Prof., Head of the Department of Ecology and Biomonitoring
e-mail: m.fedoriak@chnu.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6200-1012>
- L. I. TYMOCHKO**¹, Ph.D. (Biology), Assistant Professor of the Department of Molecular Genetics and Biotechnology
e-mail: lymochko@chnu.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5200-8141>
- O. O. SHKROBANETS**¹, Postgraduate Student of the Department of Ecology and Biomonitoring
e-mail: shkrobanets.oleksandr@chnu.edu.ua
- A. V. ZHUK**¹, Ph.D. (Biology), Assistant of the Department of Ecology and Biomonitoring
e-mail: a.zhuk@chnu.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0405-8037>
- ¹*Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, 2, Kotsiubynsky Str., Chernivtsi, 58012, Ukraine*
- O. F. DELI**², Ph.D. (Biology), Senior Lecturer of the Department of Zoology
e-mail: delijka@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2301-8759>
- ²*Odessa I.I. Mechnikov National University, 2, Dvoryanska Str., Odesa, 65082, Ukraine*
- S. S. PODOBIVSKIY**³, Ph.D. (Biology), Associate Professor of the Department of Medical Biology
e-mail: podobivskiy@tdmu.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6667-1478>
- ³*I.Horbachevsky Ternopil National Medical University, 1, m.Voli, Ternopil, 46001, Ukraine*
- V. G. MIKOLAYCHUK**⁴, Ph.D. (Biology), Associate Professor of Crop and Horticulture
e-mail: mikolaychuk7@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0110-6539>
- ⁴*Mykolayiv National Agrarian University, 9, Georgy Gongadze, Str., Mykolayiv, 54020, Ukraine*
- O. O. KALYNYCHENKO**⁵, Ph.D. (Agriculture),
Head of the Department of Technology of Processing Livestock Products
e-mail: kalynychenko.o.o@dsau.dp.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5391-0281>
- ⁵*Dnipro State Agrarian and Economic University, 25, Serhii Efremov, Str., Dnipro, 49600, Ukraine*
- U. V. LEHETA**¹, Ph.D. (Biology), Associate Professor of the Department of Ecology and Biomonitoring
e-mail: u.legeta@chnu.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7121-7344>
- O. D. ZAROCHENTSEVA**¹, Ph.D. (Biology), Assistant Professor of the Department of Ecology and Biomonitoring
e-mail: o.zarochentseva@chnu.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2451-5223>

RESULTS OF ANNUAL MONITORING OF HONEY BEE COLONY WINTER LOSSES IN UKRAINE: WINTER 2019–2020

Purpose. To estimate honey bee (*Apis mellifera* Linnaeus, 1758) colony winter loss rate for Ukraine after the winter 2019–2020 in the context of international COLOSS survey.

Methods. Analysis of the results of the survey of Ukrainian beekeepers on *A. mellifera* colonies survival after the winter 2019–2020 by using the questionnaire developed by the coordinators of COLOSS international monitoring group. Unified approaches to data collection and statistical processing have been used. Valid protocols from 702 respondents from five physical-geographical zones of Ukraine have been analysed.

Results. Honey bee colony winter loss rates for Ukraine after the winter 2019–2020 was 9.29%, the mortality rate was 5.41 %; the losses due to unsolvable queen problems – 2.19 %, and due to natural disasters – 1.69 %. The total losses in the steppe zone of Ukraine were 16.08%, significantly exceeding this indicator in the forest-steppe zone (8.94%), the zone of deciduous forests (6.73%) and the Ukrainian Carpathians (8.14%). The most common sign of dead colonies in Ukraine was the presence of a large number of dead bees in or in front of the hive (31.3 %) and unknown symptoms (37,3 %).

The majority of Ukrainian beekeepers (50.7%) did not notice any difference in wintering of the colonies going into winter with a new queen in comparison with the old one. Among antivarroa drugs, the majority of respondents preferred products based on amitraz (fumigation – 50.8%, in plates – 15.7%) and flumethrin (20.0%). We confirmed statistically lower level of winter losses in colonies treated with amitraz (fumigation), whereas colonies treated with formic acid (long-term) had higher losses.

Conclusions. Honey bee (*Apis mellifera* Linnaeus, 1758) colony winter loss rate for Ukraine after the winter 2019–2020 was 9.29% and decreased slightly compared to the last year (11.18%) and the year before last (11.26%). It was almost twice lower than the average for the countries participating in COLOSS international monitoring (18,1%) (Gray, 2021).

The highest losses were observed in the steppe zone of Ukraine, whereas the lowest in the Ukrainian Carpathians. The smaller beekeeping operations with at most 50 colonies suffered significantly higher losses (12.66%) compared to medium and large ones (9.48% and 6.52%, respectively). The number of beekeepers treating colonies against varroosis was 90.6%, and all of them mentioned that they had pre-monitored the level of *Varroa* infestation.

KEY WORDS: *Apis mellifera*, honey bee colony losses, monitoring, mortality, beekeeping

References

- García, N. L. (2018). The Current Situation on the International Honey Market. *Bee World*, 95, 89–94. DOI: <https://doi.org/10.1080/0005772X.2018.1483814>
- Popovska Stojanov, D., Dimitrov, L., Danihlnk, J., Uzunov, A., Golubovski, M., Andonov, S., & Brodschneider, R. (2021). Direct Economic Impact Assessment of Winter Honey bee Colony Losses in Three European Countries. *Agriculture*, 11, 398. 1–12. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11050398>
- Havard, T., Laurent, M., & Chauzat, M. P. (2020). Impact of stressors on honey bees (*Apis mellifera*; Hymenoptera: Apidae): Some guidance for research emerge from a meta-analysis. *Diversity*, 12(1), 7. DOI: <https://doi.org/10.3390/d12010007>

4. Gray A., Adjlane N., Arab A., Ballis A., Brusbardis V., Charrière J. D., Chlebo, R., Coffey, M.F., Cornelissen, B., da Costa, C. A., Dahle, B., Danihlik, J., Dražić, M.M., Evans, G., Fedoriak, M., Forsythe, I., Gajda, A., de Graaf, D.C., Gregorc, A., Ilieva, I., Johannesen, J., Kauko, L., Kristiansen, P., Martikkala, M., Martín-Hernández, R., Medina-Flores, C.A., Mutinelli, F., Patalano, S., Raudmets, A., San Martin, G., Soroker, V., Stevanovic, J., Uzunov, A., Vejsnaes, F., Williams, A., Zammit-Mangion M., & Brodschneider, R. (2020). Honey bee colony winter loss rates for 35 countries participating in the COLOSS survey for winter 2018–2019, and the effects of a new queen on the risk of colony winter loss. *Journal of Apicultural Research*, 59(5), 744–751. DOI: <https://doi.org/10.1080/00218839.2020.1797272>
5. Gray A., Adjlane N., Arab A., Ballis A., Brusbardis V., Douglas A. B., ... Brodschneider R. Comparative honey bee colony loss rates for 37 countries participating in the COLOSS survey for winter 2019–2020 and some associated risk factors for winter loss. 2021. (in print)
6. Tang, J., Ma, C., Shi, W., Chen, X., Liu, Z., Wang, H., & Chen, C. (2020). A National Survey of Managed Honey Bee Colony Winter Losses (*Apis mellifera*) in China (2013–2017). *Diversity*, 12(9), 318. DOI: <https://doi.org/10.3390/d12090318>
7. Becsi, B., Formayer, H., & Brodschneider, R. (2021). A biophysical approach to assess weather impacts on honey bee colony winter mortality. *Royal Society Open Science*, 8(9), 210618. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsos.210618>
8. Steinhauer, N., & Saegerman, C. (2021). Prioritizing changes in management practices associated with reduced winter honey bee colony losses for US beekeepers. *Science of The Total Environment*, 753, 141629. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141629>
9. Morawetz, L., Köglberger, H., Griesbacher A., Derakhshifar I., Crailsheim K., Brodschneider R., & Moosbeckhofer R. (2019). Health status of honey bee colonies (*Apis mellifera*) and disease-related risk factors for colony losses in Austria. *PLoS One*, 14(7), 0219293. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219293>
10. Decourtye A., Mader, E. & Desneux, N. (2010). Landscape enhancement of floral resources for honey bees in agro-ecosystems. *Apidologie*. 41, 264–277. DOI: [10.1051/apido/2010024](https://doi.org/10.1051/apido/2010024)
11. Alburaki, M., Cheaib, B., Quesnel, L., Mercier, P.-L., Chagnon, M., Derome, N. (2017). Performance of honeybee colonies located in neonicotinoid-treated and untreated cornfields in Quebec. *Journal of Applied Entomology*, 141(1-2), 112–121. DOI: <https://doi.org/10.1111/jen.12336>
12. Benaets, K., Van Geystelen, A., Cardoen, D., De Smet, L., de Graaf, D.C., Schoofs, L., Larmuseau, M.H.D., Brettell, L.E., Martin, S.J., Wenseleers, T. (2017). Covert deformed wing virus infections have long-term deleterious effects on honeybee foraging and survival. *Proceedings of the Royal Society B Biological Sciences*, 284, 20162149. DOI: <https://dx.doi.org/10.1098%2Frspb.2016.2149>
13. Goulson, D., Nicholls, E., Botnas, C., Rotheray, E.L. (2015). Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science*, 347, 1255957. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1255957>
14. Berthoud, H., Imdorf, A., Haueter, M., Radloff, S., & Neumann, P. (2010). Virus infections and winter losses of honey bee colonies (*Apis mellifera*). *Journal of Apicultural Resources*, 49, 60–65. DOI: <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.49.1.08>
15. Ukraine exported record volumes of honey. *Ukrinform*: website. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3150480-ukraina-eksportuvala-rekordni-obsagi-medu.html> (In Ukrainian)
16. Fedoriak, M.M., Tymochko, L.I., Shkrobanets, O.O., Zhuk, A.V., Deli, O.F., Podobivskiy, S.S., Mikolaychuk, V.G., Kalynychenko, O.O., Leheta, U.V., Zarochentseva, O.D. (2020). Results of standardised beekeeper survey of honey bee colony losses in Ukraine for winter 2018–2019. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University series «Ecology»*, (23), 124–138. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-23-11> (In Ukrainian)
17. National atlas of Ukraine. Kyiv: DNVP "Cartography". 2007. 440 p. (In Ukrainian)
18. Fedoriak, M.M., Tymochko, L.I., Kulmanov, O.M., Shkrobanets, O.O., Zhuk, A.V., Dron, Yu.S., Deli, O.F., Podobivskiy, S.S., Melnychenko, G.M., Leheta, U.V., Kholivchuk, A.M. (2019). Results of annual honey bee colony losses survey in Ukraine: winter 2017–2018. *Biological systems*, 11(1), 60–70. URL: <http://apis.chnu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/07/2017-18-v-Ukraini-Fedoryak-ta-in-2019-min.pdf> (In Ukrainian)
19. Fedoriak, M., Tymochko, L., Kulmanov, O., Rudenko, S., Deli, O., Podobivskiy, S., Melnychenko, G., Brodschneider, R. & Volkov, R. (2018). Honey bee (*Apis mellifera* L.) colony losses in Ukraine after the winter of 2016–2017 within the international monitoring. *Biological systems*, 10(1), 37–46. (In Ukrainian)
20. Brodschneider R., Gray A., Van der Zee R., Adjlane N., Brusbardis V., Charrière J. D., Chlebo, R., Coffey, M.F., Crailsheim, K., Dahle, B., Danihlik, J., Danneels, E., de Graaf, D.C., Dražić, M.M., Fedoriak, M., Forsythe, I., Golubovski, M., Gregorc, A., Grzęda, U., Hubbuck, I., Tunca, R.Í., Kauko, L., Kilpinen, O., Kretavicius, J., Kristiansen, P., Martikkala, M., Martín-Hernández, R., Mutinelli, Fr., Peterson, M., Otten, C., Ozkirim, A., Raudmets, A., Simon-Delso, N., Soroker, V., Topolska, G., Vallon, J., Vejsnaes F., & Woehl, S. (2016). Preliminary analysis of loss rates of honey bee colonies during winter 2015/16 from the COLOSS survey. *Journal of Apicultural Research*, 55(5), 375–378. DOI: <https://doi.org/10.1080/00218839.2016.1260240>
21. Brodschneider, R., Gray, A., Adjlane, N., Ballis, A., Brusbardis, V., Charrière, J.-D., Chlebo, R., Coffey, M.F., Dahle, B., de Graaf, D.C., Dražić, M.M., Evans, G., Fedoriak, M., Forsythe, I., Gregorc, A., Grzęda, U., Hetzroni, A., Kauko, L., Kristiansen, P., Martikkala, M., Martín-Hernández, R., Medina-Flores, C.A., Mutinelli, F., Raudmets, A., Ryzhikov, V.A., Simon-Delso, N., Stevanovic, J., Uzunov, A., Vejsnaes, F., Wöhl, S., Zammit-Mangion, M., & Danihlik, J. (2018). Multi-country loss rates of honey bee colonies during winter 2016–2017 from the COLOSS survey. *Journal of Apicultural Research*, 57(3), 452–457. DOI: <https://doi.org/10.1080/00218839.2018.1460911>
22. Fedoriak, M. M., Tymochko, L. I., Kulmanov, O. M., Volkov, R. A., Rudenko, S. S. (2017). Winter losses of honey bee (*Apis mellifera* L.) colonies in Ukraine (monitoring results of 2015–2016). *Ukrainian Journal of Ecology*, 7(4), 604–613. URL: <https://www.ujecology.com/articles/winter-losses-of-honey-bee-apis-mellifera-l-colonies-in-ukraine-monitoring-results-of-20152016.pdf>
23. Laurino, D., Liroy, S., Carisio, L., Manino, A., & Porporato, M. (2020). *Vespa velutina*: An alien driver of honey bee colony losses. *Diversity*, 12(1), 5. DOI: <https://doi.org/10.3390/d12010005>

М. М. ФЕДОРЯК¹, д-р биол. наук, проф., заведуюча кафедри екології та біомоніторингу
e-mail: m.fedoriak@chnu.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6200-1012>

Л. И. ТИМОЧКО¹, канд. биол. наук, асистент кафедри молекулярної генетики та біотехнології
e-mail: l.tymochko@chnu.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5200-8141>

А. А. ШКРОБАНЕЦ¹, аспірант кафедри екології та біомоніторингу
e-mail: shkrobanets.oleksandr@chnu.edu.ua

А. В. ЖУК¹, канд. биол. наук, асистент кафедри екології та біомоніторингу
e-mail: a.zhuk@chnu.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0405-8037>

О. Ф. ДЕЛИ², канд. биол. наук, старший преподаватель кафедри зоології
e-mail: delijka@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2301-8759>

²Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, ул. Дворянская, 2, Одесса, 65082, Украина

С. С. ПОДОБИВСКИЙ³, канд. биол. наук, доц., доцент кафедри медичної біології
e-mail: podobivskiy@tdmu.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6667-1478>

³Тернопольский государственный медицинский университет имени И. Я. Горбачевского,
пл. Воли, 1, г. Тернополь, 46001, Украина

В. Г. МИКОЛАЙЧУК⁴, канд. биол. наук, доц.,
доцент кафедри рослинництва та садово-паркового господарства

e-mail: mikolaychuk7@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0110-6539>

⁴Николаевский национальный аграрный университет, ул. Георгия Гонгадзе, 9, г. Николаев, 54020, Украина

Е. А. КАЛИНИЧЕНКО⁵, канд. с.-х. наук, доц.,
заведувач кафедри технології переробки продукції тваринництва
e-mail: kalynychenko.o.o@dsau.dp.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5391-0281>

⁵Днепропетровский государственный аграрный и экономический университет,
ул. Сергея Ефремова, 25, г. Днепр, 49600, Украина

У. В. ЛЕГЕТА¹, канд. биол. наук, доц., доцент кафедри екології та біомоніторингу
e-mail: u.legeta@chnu.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7121-7344>

О. Д. ЗАРОЧЕНЦЕВА¹, канд. биол. наук, асистент кафедри екології та біомоніторингу
e-mail: o.zarochentseva@chnu.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2451-5223>

¹Черновицкий национальный университет имени Юрия Федьковича,
ул. Коцюбинского, 2, г. Черновцы, 58012, Украина

РЕЗУЛЬТАТЫ ЕЖЕГОДНОГО МОНИТОРИНГА ЗИМНИХ ПОТЕРЬ ПЧЕЛИНЫХ КОЛОНИЙ В УКРАИНЕ: ЗИМОВКА 2019–2020 гг.

Цель. Оценить потери колоний медоносных пчел (*Apis mellifera* Linnaeus, 1758) в Украине после зимовки 2019-2020 гг. в разрезе международного мониторинга организации COLOSS.

Методы. Анализ результатов анкетирования пчеловодов Украины относительно успешности зимовки колоний *A. mellifera* на их пасеках в 2019-2020 гг. с использованием анкеты, разработанной координаторами международного мониторинга COLOSS. Используются единые подходы в сборе данных и их статистической обработке. Проанализированы валидные анкеты 702 респондентов из пяти физико-географических зон Украины.

Результаты. Уровень общих потерь пчелиных колоний в Украине после зимовки 2019-2020 гг. составил 9,29 %, при этом 5,41 % погибли, 2,19% потеряно из-за неразрешимых проблем с матками, а 1,69 % колоний – из-за негативных природных явлений. Общие потери в степной зоне Украины составляли 16,08 %, достоверно превосходя соответствующий показатель в зоне широколиственных лесов (6,73 %), лесостепной зоне (8,94 %) и Украинских Карпатах (8,14 %). Погибшие колонии чаще всего характеризовались наличием мертвых пчел в улье или перед ним (31,3 %), а также неизвестными для пчеловодов симптомами (37,3 %). Большинство пчеловодов Украины (50,7 %) не видели разницы в зимовке колоний с новой или старой маткой. Среди химических препаратов большинство респондентов предпочитали средства на основе амитраза (окуривание - 50,8 %, в пластинках – 15,7 %) и флуметрина (20,0 %). Статистически подтверждено снижение уровня зимних потерь при применении амитраза (окуривание), тогда как обратная зависимость выявлена для муравьиной кислотой (длительно), применение которой оказалось неэффективным.

Выводы. Уровень общих потерь пчелиных колоний в Украине после зимовки 2019-2020 гг. несколько снизился в сравнении с прошлым и позапрошлым годами, а также оказался почти вдвое ниже среднего значения на просторах международного мониторинга. Наибольшие общие потери отмечено в степной зоне Украины, а наименьшие – в Украинских Карпатах. Подтверждено достоверно большие потери на малых пасеках по сравнению со средними и крупными. Возросло количество пчеловодов, лечащих колонии от варроатоза, при этом все из них предварительно мониторят уровень заклещенности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *Apis mellifera*, потери колоний, мониторинг, смертность, пчеловодство

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-11>
УДК (UDC): 66.084+541.182; 628.1; 658.265

І. З. КОВАЛЬ, канд. техн. наук,
доцент кафедри фізичної, аналітичної та загальної хімії
e-mail: irynazk@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8154-4154>
Національний університет "Львівська політехніка"
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна

ЕФЕКТИВНІСТЬ ДІЇ ГАЗІВ НА ОЧИЩЕННЯ ВОДИ З ОДНАКОВИМ МІКРОБНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

Мета. Дослідити дію газів на процес водоочищення від аеробних мікроорганізмів (МО) з однаковим їх вихідним вмістом у водному середовищі. Встановити природу газу, в атмосфері якого досягнуто найвищого ступеня зруйнованих мікробних клітин в одиниці об'єму води.

Методи. Для досліджень використовували аеробні бактерії роду *Bacillus cereus* з вихідним їх вмістом $7 \cdot 10^4$ КУО/см³. Досліджуваною водою слугувала модельна вода, створена на основі дистильованої дезаерованої води з внесенням до неї бактерій конкретного виду. Досліджуваними газами були кисень, вуглекислий газ, а також інертні – аргон та гелій. Умови процесу: тривалість – 2 години, швидкість барботування газів – 0,2 см³/с, T = 288±1 К. Використовували кількісний метод підрахунку вихідного та кінцевого числа мікроорганізмів (ЧМ) шляхом висівання зразків досліджуваної води на поживне середовище у чашки Петрі до та після експериментів.

Результати. Показано різну ефективність процесу водоочищення в залежності від природи газу. Представлено зміну величини ЧМ від часу барботування газів. Розраховано ступені руйнування досліджуваних мікроорганізмів в залежності від режиму обробки води та тривалості процесу. Криві дії газів на процес очищення води від бактерій мали спадний характер впродовж всієї тривалості експерименту, за винятком дії кисню. Вплив кисню на процес руйнування МО складається з двох стадій – незначне нагромадження клітин (I стадія) та подальше їх руйнування на II стадії. Відсоток нагромадження клітин впродовж 3600с подачі кисню у водне середовище становив 9,43%, що зумовлено споживанням бактеріями барботованого кисню. Це й призвело до найнижчої ефективності процесу для дії кисню в кінцевому результаті (D_d лише 34,73%). Найбільшу ефективність руйнування МО виявлено при подачі вуглекислого газу ($D_d = 91,0$ %), що, очевидно, обумовлено збільшенням кислотності досліджуваного середовища ($pH_{\text{поч}} = 6,1$; $pH_{\text{кін}} = 4,3$). Вивчено вплив гелію на очищення води при різному мікробному навантаженні. Показано, що ефективність руйнування клітин зростає із зменшення їх кількості в одиниці об'єму води.

Висновки. Показано вплив природи різних газів на процес руйнування аеробних МО у воді з однаковим та різним мікробним навантаженням. Встановлено, що процес очищення води від МО залежить від природи барботованого газу. Експериментально встановлено газ, подача якого дозволила досягнути найбільшої кількості загиблих клітин після 7200 с. Найвищу ефективність знезараження води досягнуто під час дії вуглекислого газу. Побудовано відносний ряд ефективної дії досліджуваних газів на очищення мікробної води.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *Bacillus cereus*, кисень, вуглекислий газ, аргон, гелій, вода

Як цитувати: Коваль І. З. Ефективність дії газів на очищення води з однаковим мікробним навантаженням. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2021. Вип. 25. С. 125-134. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-11>

In cites: Koval, I. Z. (2021). Effectiveness of using gases for water purification with the same microbial load. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Ecology»*, (25), 125-134. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-11>

© Коваль І. З., 2021



This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Вступ

Загальними джерелами забруднень відкритих водойм є недостатнє очищення стічних вод промисловими та комунальними підприємствами, побутовим господарством, великими тваринницькими комплексами, змиття талими та дощовими водами забруднюючих речовин з полів та міських територій. Стічні води, що утворюються під час технологічних процесів, особливо після очищення викидаються до річок або водоймищ. В основному стічні води забруднені продуктами життєдіяльності населення, побутовими миючими засобами, фарбниками, відходами промисловості, що скидаються у каналізацію. Стічні води містять велику кількість МО, заражені яйцями гельмінтів і тому перед викидом у водойми вони підлягають механічному і біохімічному очищенню, знезараженню [1, 2]. Таким чином, велика кількість забруднюючих речовин надходять у відкриті водойми, змінюючи їх хімічний та мікробіологічний склад [3-6]. Саме тому й досі науковці здійснюють пошуки нових методів водоочищення, або займаються вдосконаленням вже існуючих методів.

Запропоновано безліч дієвих та результативних чинників впливу та обробки води не лише реагентними, але й безреагентними методами очищення води від МО. Значними позитивними відгуками відзначено дію ультрафіолетового випромінювання [2, 7-9], осмос [7, 10], озонування [11-14], ультразвуку [15-20], тощо. Однак, у

воді, окрім сторонніх забрудників, присутні розчинені гази, які мають вагомий вплив на розвиток та життєдіяльність різної водної мікрофлори. Наявність газоподібних речовин в природних водах також зумовлена продуктами їх життєдіяльності [21]. Тому в технології водоочищення важливо дослідити вплив газів на ріст і розвиток різних МО, оскільки їх вплив на мікрооб'єкти є маловивченим на даний час.

В роботі [18] виявили зменшення кількості дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* на 55% після 30-секундної дії п'єзоквацевим генератором з частота 800 кГц та інтенсивність 7 Вт/см²) з вихідною концентрацією 3·10⁵ кл/см³, після 2 хв – 77%, після 10 хв – 90%. Під час подачі водню в аналогічній умовах експерименту спостерігали збільшення чисельності *Sacch. cerevisiae*. Дію кисню на бактеріальні клітини при різній концентрації межах 10² - 10⁴ КУО/см³ вивчено в [22], в [23] досліджували вплив концентрації кисню на ступінь загибелі клітин. Вплив підвищеної концентрації кисню на ріст та метаболізм еукаріотів та прокаріотів представлено в [24].

В представлений роботі запропоновано обробку води з високим вмістом МО дією газів різної природи - киснем, вуглекислим газом, аргоном та гелієм, що дозволить зробити висновки щодо життєдіяльності бактерій в атмосфері конкретних газів.

Методика

Для дослідження процесу руйнування МО у воді використовували монокультури паличкоподібних бактерії роду *Bacillus*. Чисті культури цих МО, з дотриманням умов стерильності, вносили до дистильованої води, яку попередньо дезаерували шляхом кип'ятіння. Тобто створювали модельне середовище для експериментів з вихідним мікробним навантаженням 7·10⁴ КУО/см³ з метою максимального наближення до реальної концентрації забруднення вод з відкритих водойм. Об'єм досліджуваного модельного середовища становив 75 см³, який заливали в скляний реактор і барботували досліджуваними газами впродовж двох годин. Таким чином застосовували різні режими

обробки води, а саме: барботування води киснем, вуглекислим газом, аргоном та гелієм. Температура реакційного середовища відповідала 298±1К.

Для визначення кількості МО в одиниці об'єму води кожних 30 хв стерильною піпеткою відбирали 1 см³ досліджуваної води та здійснювали посів на тверде поживне середовище – м'ясо-пептонний агар (МПА). Кожну пробу води висівали не менше ніж в три паралельні чашки Петрі глибинним методом наступним чином. У стерильну злегка відкрити чашку Петрі вносили стерильною піпеткою посівну дозу (1 см³) і одразу заливали 15-20 см³ розплавленого і охолодженого до 45-48°C поживного

середовища. Кришку закривали і легкими обертовими рухами чашки ретельно перемішували поживне середовище з посівним матеріалом для рівномірного покриття дна. В одну чашку Петрі вносили МПА без проби води, щоб пересвідчитись в стерильності середовища. Чашки залишали в горизонтальному положенні для застигання агару, при цьому клітини МО фіксуються в певній точці середовища. Потім чашки перевертали

дном догори і переносили у термостат з температурою, сприятливою для вирощування МО, а саме при 37 °С. Клітини МО розмножуються, їх маса зростає так, що утворюються колонії, помітні неозброєним оком.

Підрахунок клітин до і після обробки виражали в колонійутворюючих одиницях (КУО), які вирости на поживному середовищі на чашках Петрі. Методика підрахунку колоній детально наведена в [25].

Результати досліджень

Досліджуваними МО були клітини аеробних бактерій роду *Bacillus cereus*, що пов'язано з виявленням цього різновиду МО в домінуючій кількості, як в різних природних водах, так і в стічній воді серед бактерій [26]. Відсоток переважання їх кількості становив > 60%, порівняно з іншими формами паличковидних та кулястих бактерій (*Bacterium*, *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Sarcina* тощо).

Детальну характеристику досліджуваних мікроорганізмів наведено в [25], а морфологічні особливості досліджуваних мікрооб'єктів – в [27].

Графічні залежності зміни величини ЧМ від тривалості барботування газів представлено на рис. 1, а відсоток зруйнованих клітин (D_d) після кожного відбирання проб

води з врахуванням режиму обробки води узагальнено в таблиці 1. Ступінь руйнування МО після обробки мікробної води газом обчислено як відношення числа мікроорганізмів до початкового їх числа, виражений у відсотках.

Найвищу ефективність знезараження води виявив вуглекислий газ ($D_d = 91,0\%$), і не лише в кінцевому результаті, але й впродовж всього процесу (табл. 1). Це пояснюється підкисленням середовища майже на дві одиниці внаслідок розчинення у воді вуглекислого газу. Зміну величини рН зображено на рис. 2, на якому бачимо плавне зменшення величини рН від тривалості подачі вуглекислого газу. Початкове значення рН води становило 6,1, а після двох годин барботування $pH_{кін} = 4,3$. Визначено, що

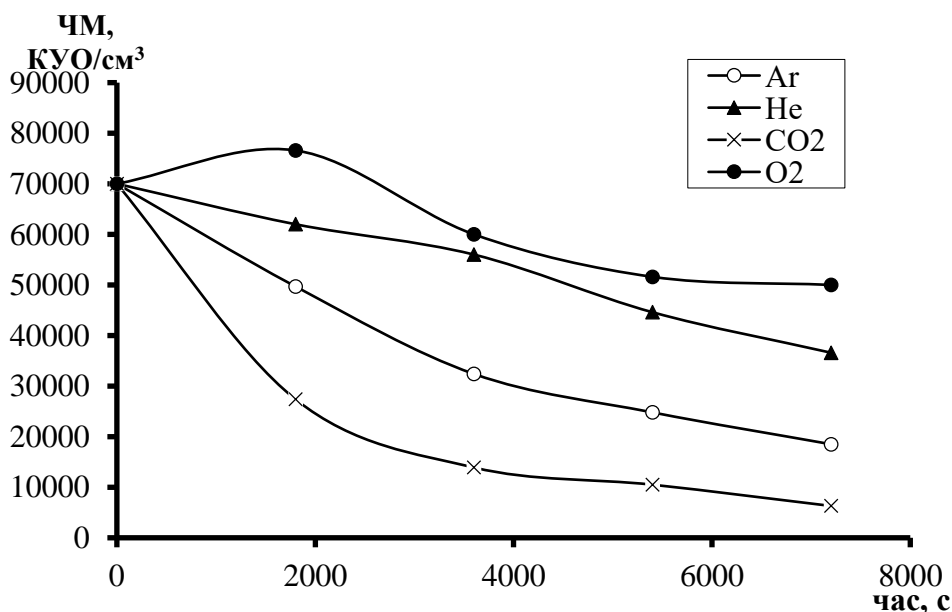


Рис. 1 – Залежності величин ЧМ для бактерій *Bacillus cereus* від тривалості барботування газів
Умови процесу: $ЧМ_0 = 7 \cdot 10^4$ КУО/см³, $T = 288 \pm 1$ К

Fig. 1 – Dependences of NM values for *Bacillus cereus* bacteria on the duration of gas bubbling
Process conditions: $NM_0 = 7 \cdot 10^4$ CFU/cm³, $T = 288 \pm 1$ K

Таблиця 1
Ступені руйнування досліджуваних мікроорганізмів при $ЧМ_{01} = 7 \cdot 10^4$ КУО/см³
в залежності від режиму обробки води та тривалості процесу

Table 1
Destruction degrees of the studied microorganisms at the $ЧМ_0 = 7 \cdot 10^4$ CFU/cm³
depending on the water treatment mode and process duration

Режими обробки води	Ступінь руйнування від тривалості обробки води, %			
	1800с	3600 с	5400 с	7200 с
O ₂	-	21,67	32,63	34,73
He	11,43	20,0	36,29	47,71
Ar	29,0	53,71	64,57	73,57
CO ₂	60,86	80,14	85,0	91,0

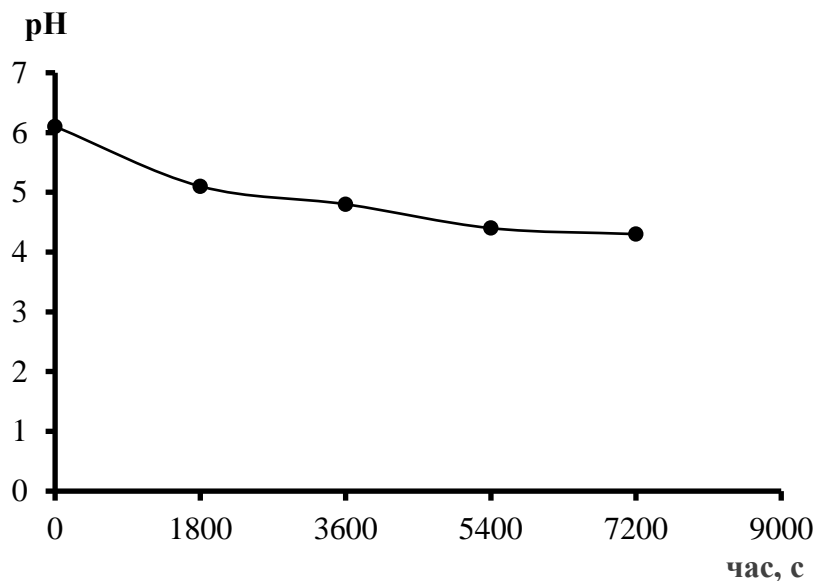


Рис. 2 – Зміна величини рН мікробної води з вмістом бактерій *Bacillus cereus* від тривалості барботування вуглекислого газу

Fig. 2 – Change of pH value in microbial water containing *Bacillus cereus* bacteria depending on the duration of bubbling carbon dioxide

величина рН в часі спадає із аналогічною закономірністю зменшення кількості клітин в атмосфері CO₂. Таким чином, саме збільшення кислотності водного середовища за рахунок водорозчинного вуглекислого газу із загальною його витратою 1,4 дм³ після двогодинного процесу зумовило руйнування найбільшої кількості клітин, порівняно з дією кисню, аргону та гелію.

Якщо порівнювати вплив інертних газів при $ЧМ_0 = 7 \cdot 10^4$ КУО/см³, аргон очистив воду на 73,57 %, а ефективність дії гелію після $t=7200$ с дорівнює 47,71 %. Загалом вплив самого аргону майже вдвічі перевищує ефективність дію самого гелію впродовж всієї тривалості барботування мікробної води з $ЧМ_0 = 7 \cdot 10^4$ КУО/см³ (рис. 1). Щоб

більш детально дослідити вплив гелію на процес водоочищення, було здійснено обробку води гелієм з різним $ЧМ_0$ (рис. 3). Показано, що криві при $ЧМ_{02} = 4,8 \cdot 10^4$ КУО/см³ та $ЧМ_{03} = 3,4 \cdot 10^4$ КУО/см³ майже накладаються одна на одну та описуються майже однаковими величинами $ЧМ/ЧМ_0$ (табл. 2) для з досягненням ступеня руйнування клітин в межах 72-77% (табл. 3), наближаючись до ефективності дії аргону. Отже, гелій демонструє досягнення вищих показників водоочищення від бактерій при меншій їх концентрації.

Найменшу ефективність під час очищення води досліджено в атмосфері кисню, процес якого можна розділити на дві стадії. На I стадії відбулось незначне нагромад-

ження клітин МО, очевидно, за рахунок споживання кисню аеробними клітинами досліджуваних бактерій. На II стадії спостерігаємо повільне і плавне зменшення чисельності клітин (рис. 1), що пояснюється насиченням водного середовища киснем та подальшим їх відмиранням. Представлені результати щодо дії кисню узгоджуються з

результатами нашої попередньої роботи [22], де також виявлено двостадійний процес зміни ЧМ під час барботування кисню через мікробну воду при різних ЧМ₀ та встановлено, що тривалість стадії нагромадження бациллярних клітин зменшується із збільшення мікробного навантаження у воді.

Таблиця 2

Зміна величин ЧМ/ЧМ₀ від тривалості обробки мікробної води гелієм при різній вихідній кількості мікроорганізмів

Table 2

Changes of NM/NM₀ values depending on the treatment duration of microbial water in the helium atmosphere at the different initial number of microorganisms

Тривалість дії гелію, с	ЧМ/ЧМ ₀ для різної вихідної кількості мікроорганізмів		
	3,4·10 ⁴ КУО/см ³	4,8·10 ⁴ КУО/см ³	7·10 ⁴ КУО/см ³
1800	0,79	0,76	0,89
3600	0,54	0,57	0,82
5400	0,36	0,47	0,64
7200	0,23	0,27	0,52

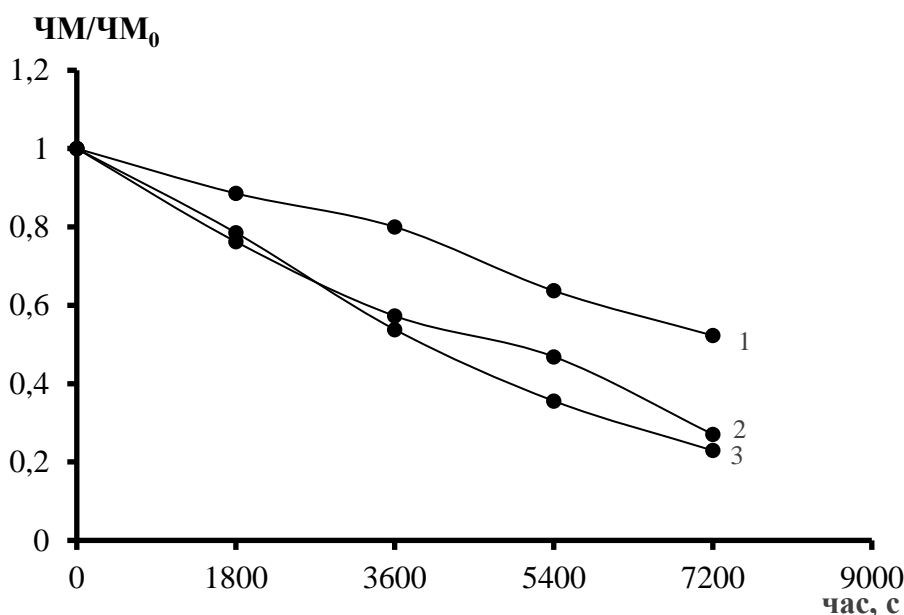


Рис. 3 – Залежності відношення ЧМ/ЧМ₀ для бактерій *Bacillus cereus* від тривалості барботування гелію при різному вихідному ЧМ₀.
Умови процесу: ЧМ₀₁ = 7·10⁴ КУО/см³, ЧМ₀₂ = 4,8·10⁴ КУО/см³, ЧМ₀₃ = 3,4·10⁴ КУО/см³, T = 288±1 К

Fig. 3 – Dependences of the NM/NM₀ ratio for *Bacillus cereus* bacteria on the duration of helium bubbling at the different initial NM₀.
Process conditions: NM₀₁ = 7 · 10⁴ CFU/cm³, NM₀₂ = 4.8 · 10⁴ CFU/cm³, NM₀₃ = 3.4 · 10⁴ CFU/cm³, T = 288 ± 1 K

Таблиця 3

Ступінь зруйнованих клітин (D_d) після обробки мікробної води гелієм при різній вихідній кількості мікроорганізмів

Table 3

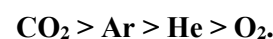
Degree of destroyed cells (D_d) after helium treatment of microbial water at the different initial number of microorganisms

Вихідна кількість мікроорганізмів, КУО/см ³	Величини D_d після обробки води тривалістю 7200 с, %
$3,4 \cdot 10^4$	77,06
$4,8 \cdot 10^4$	72,92
$7 \cdot 10^4$	47,71

За результатами досліджень можна порівняти ефективність руйнування МО у водному середовищі під час дії різних газів і, таким чином, визначити газоподібну атмосферу, в якій цей процес є найбільш ефективним, та в атмосфері якого газу бактерії руйнуються найповільніше.

Приймаючи до уваги результативність впливу досліджуваних газів, можна відобра-

зати відносний ряд ефективної загибелі *Bacillus* внаслідок їх дії:



Таким чином, здійснені експерименти дозволили описати та обґрунтувати процеси очищення води від конкретних МО та встановити ефективну природу газу на їх руйнування.

Висновки

Вивчаючи вплив різних режимів обробки води, а саме дію кисню, вуглекислого газу та інертних аргону і гелію, найбільшу кількість зруйнованих бактеріальних клітин досліджено в атмосфері вуглекислого газу, а найменшу – в атмосфері кисню. Після барботування CO_2 зі швидкістю $0,2 \text{ см}^3/\text{с}$ через водне середовище об'ємом 75 см^3 мікробне число зменшилось на два порядки, досягаючи при цьому

ступеня знезараження води 91,0%. Показано, що ефективність дії гелію збільшується із зменшення мікробного навантаження у воді. Виявивши високу ефективність дії CO_2 на процес руйнування бактеріальних клітин, цей газ доцільно застосовувати в процесах водоочищення, а також в поєднанні з іншими реагентами або фізичними методами обробки води з метою підсилення руйнівної дії на мікрооб'єкти.

Конфлікт інтересів

Автор заявляє, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автор повністю дотримувався етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Список використаної літератури

1. Kurmakova I., Demchenko N., Bondar O., Vorobyova V. Microbiological Composition of the Biofilm on the Metal Surface of Sewage Constructions. *Chemistry & Chemical Technology*. 2018. Vol. 12. No. 4. P. 519–522. DOI: <https://doi.org/10.23939/chcht12.04.519>
2. Іванченко Л. В., Кожухар В. Я., Брем В. В. Хімія і технологія води : навч. посіб. Одеса : Екологія, 2017. 208 с.
3. Posthuma L., Zijp M. C., Zwart, D. D. et al. Chemical pollution imposes limitations to the ecological status of European surface waters. *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. P.148-156 DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71537-2>
4. Haseena M., Malik M. F., Javed A., Arshad S., Asif N., Zulfiqar Sh. and Hanif J. Water pollution and human health. *Environmental Risk Assessment and Remediation*. 2017. Vol. 1, No. 3. P. 16-19. DOI: <https://doi.org/10.4066/2529-8046.100020>

5. Chaudhry F. N., Malik M. F. Factors Affecting Water Pollution: A Review. *J. Ecosyst Ecography*. 2017. Vol. 7, No. 1. P. 225-230. DOI: <https://doi.org/10.4172/2157-7625.1000225>
6. Кравченко М. В. Фізико-хімічний аналіз природної питної води різних джерел водопостачання. *Екологічна безпека та природокористування*. 2015. Т. 19, № 3. С. 52-60.
7. Dirisu G. B., Okonkwo U. C., Okokpueje I. P., Fayomi S. I. Comparative analysis of the effectiveness of reverse osmosis and ultraviolet radiation of water treatment. *Journal of Ecological Engineering*. 2019. Vol. 20, No. 1. P. 61-75. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/93978>
8. Oguma K., Rattanukul S., Masaike M. Inactivation of health-related microorganisms in water using UV light-emitting diodes. *Water Supply*. 2019. Vol. 19, No 5. P. 1507–1514. DOI: <https://doi.org/10.2166/ws.2019.022>
9. Nguyen T. M., Suwan P., Koottatep Th. and Becka S. E. Application of a novel, continuous-feeding ultraviolet light emitting diode (UV-LED) system to disinfect domestic wastewater for discharge or agricultural reuse. *Water Res*. 2019. Vol. 153. P. 53–62. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.01.006>
10. Wei C., Zhang F., Hu Y., Feng C., Wu H. Ozonation in water treatment: The generation, basic properties of ozone and its practical application. *Reviews in Chemical Engineering*. 2017. Vol. 33, No. 1. P. 302-315. DOI: <https://doi.org/10.1515/revce-2016-0008>
11. Потапченко Н. Г., Левадная Т. И., Соболева Н. М. Кинетика гибели *E. coli* под действием озона. Химия и технология воды. 2007. Т.29, №6. С.582-594.
12. Manasfi T. Ozonation in drinking water treatment: an overview of general and practical aspects, mechanisms, kinetics, and byproduct formation. *Comprehensive Analytical Chemistry*. 2021. Vol. 92. P. 85-116. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.coac.2021.02.003>
13. Pawełek J. and Bergel T. Ozone water treatment in small water purification plants in Poland – Mszana Dolna case study. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 86. 29-32. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20198600029>
14. Santos L. M., Silva E. S., Oliveira F. O., Rodrigues L. A., Neves P. R., Meira C. S., Moreira G. A., Lobato G. M., Nascimento C., Gerhardt M. et al. Ozonized Water in Microbial Control: Analysis of the Stability, In Vitro Biocidal Potential, and Cytotoxicity. *Biology*. 2021. Vol. 10. P. 525-545. DOI: <https://doi.org/10.3390/biology10060525>
15. Raed A. A.-J., Vasantha A., Talal Y. Impact of pulsed ultrasound on bacteria reduction of natural waters. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2015. Vol. 27. P. 137–147. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.05.007>
16. Luhovskyi O. F., Gryshko I. A., Bernyk I. M. Enhancing the Efficiency of Ultrasonic Wastewater Disinfection Technology. *Journal of Water Chemistry and Technology*. 2018. Vol. 40. P. 95-101. <https://doi.org/10.3103/S1063455X18020078>
17. Li Y., Shi X., Zhang Zh., Peng Y. Enhanced coagulation by high-frequency ultrasound in *Microcystis aeruginosa*-laden water: Strategies and mechanisms. *Ultrasonics Sonochem*. 2019. Vol. 55. P. 232-242. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.01.022>
18. Dai Ch., Xiong F., He R., Zhang W. Effects of low-intensity ultrasound on the growth, cell membrane permeability and ethanol tolerance of *Saccharomyces cerevisiae*. *Ultrasonics Sonochem*. 2017. Vol. 36. P. 191-197. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.11.035>
19. Iorio M. C., Bevilacqua A., Corbo M. R. A case study on the use of ultrasound for the inhibition of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* in almond milk. *Ultrasonics Sonochem*. 2019. Vol. 52. P. 477-483. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.12.026>
20. Kong Y., Peng Y., Zhang Zh. Removal of *Microcystis aeruginosa* by ultrasound: Inactivation mechanism and release of algal organic matter. *Ultrasonics Sonochem*. 2019. Vol. 56. P. 447-457. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.04.017>
21. Мягченко О. П. Основы экологии : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2010. 312 с.
22. Коваль І. Вплив концентрації аеробних бактерій на процес їх життєздатності в присутності кисню. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна серія «Екологія»*. 2020. № 23. С. 118-123. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-23-10>
23. Ruigrok, M.J.R., Tomar, J., Frijlink, H.W. et al. The effects of oxygen concentration on cell death, anti-oxidant transcription, acute inflammation, and cell proliferation in precision-cut lung slices. *Sci. Rep*. 2019. Vol. 9. P. 16239. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52813-2>
24. Baez, A., Shiloach, J. Effect of elevated oxygen concentration on bacteria, yeasts, and cells propagated for production of biological compounds. *Microb. Cell Fact*. 2014. Vol. 13. P. 181. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12934-014-0181-5>
25. Коваль І. Вплив кисню та вуглекислого газу на очищення води від бактерій та дріжджів в кавітаційних умовах. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна серія «Екологія»*. 2020. № 22. С. 75-82. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-22-07>
26. Коваль І. З. Переважаюча мікрофлора природних та стічних вод Львівщини. *Chemistry, Technology and Application of Substances*. 2020. Vol. 3, No. 2. P. 121-126. DOI: <https://doi.org/10.23939/ctas2020.02.121>

27. Koval I., Starchevskyy V. Gas nature effect on the destruction of various microorganisms under cavitation action. *Chemistry & Chemical Technology*. 2020. Vol. 14, No. 2. P. 264-270. DOI: <https://doi.org/10.23939/chcht14.02.264>

Стаття надійшла до редакції 15.09.2021

Стаття рекомендована до друку 22.10.2021

I. Z. KOVAL, Ph. D. (Technical),

Associate Professor of the Department of Physical, Analytical and General Chemistry

e-mail: irykazk@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8154-4154>

Lviv Polytechnic National University, 12, S. Bandery, Str., Lviv, 79013, Ukraine

EFFECTIVENESS OF USING GASES FOR WATER PURIFICATION WITH THE SAME MICROBIAL LOAD

Purpose of the study is to investigate the effect of gases on the process of water purification from aerobic microorganisms (MO) with the same initial content in the aquatic medium and to identify the nature of the gas in the atmosphere in which the highest degree of destroyed microbial cells per unit volume of water is achieved.

Methods. Aerobic bacteria of the *Bacillus cereus* bacteria type with the initial content of $7 \cdot 10^4$ CFU/cm³ were used for research. The investigated water was model water created on the basis of distilled deaerated water with the introduction of bacteria of a specific species. Oxygen, carbon dioxide, as well as inert - argon and helium were used as a studied gases. Process conditions were: duration - 2 hours, gas bubbling rate - 0.2 cm³/c, T = 288 ± 1 K. Has been used a quantitative method of counting the initial and final number of microorganisms (NM) by sowing samples of test water on nutrient medium in Petri dishes before and after experiments.

Results. The different efficiency for the water purification process depending on the gas nature is shown. The NM value change of the time of bubbling gases is presented. The degree of destruction of the studied microorganisms was calculated depending on the mode of water treatment and the process duration. The oxygen influence on the process of MO destruction consists of two stages - a slight accumulation of cells (I stage) and their subsequent destruction in the II stage. The percentage of cell accumulation during 3600s during oxygen bubbling into the aqueous medium was 9.43%, which is due to the consumption of bubbling oxygen by bacteria. This led to the lowest process efficiency for the oxygen action in the end of the result (D_d is 34.73% only). The greatest efficiency of MO destruction was found during carbon dioxide bubbling ($D_d = 91.0\%$), which is obviously due to the increase in the acidity of the test medium ($pH_{initial} = 6.1$ and $pH_{end} = 4.3$). The influence of helium on water purification at different microbial load has been studied. It has been shown that the efficiency of cell destruction increases with a decrease of its number per unit volume of water.

Conclusions. The influence of the different gases nature on the destruction process of aerobic MO in water with the same and different microbial load is shown. It is established that the process of water purification from MO depends on the nature of the bubbled gas. The gas, the supply of which allowed to achieve the largest number of destroyed cells after 7200 s, was experimentally determined. The highest efficiency of water disinfection is achieved during the action of carbon dioxide. A relative series of effective action of the investigated gases on microbial water purification is established.

KEY WORDS: *Bacillus cereus*, oxygen, carbon dioxide, argon, helium, water

References

1. Kurmakova, I., Demchenko, N., Bondar, O. & Vorobyova, V. (2018). Microbiological Composition of the Biofilm on the Metal Surface of Sewage Constructions. *Chemistry & Chemical Technology*, 12(4), 519–522. <https://doi.org/10.23939/chcht12.04.519>
2. Ivanchenko, L. V., Kozhukhar, V. YA. & Brem, V. V. (2017). Chemistry and technology of water. Odessa: Ecology. (In Ukrainian)
3. Posthuma, L., Zijp, M. C., Zwart, D. D. ... Birk, S. (2020). Chemical pollution imposes limitations to the ecological status of European surface waters. *Scientific Reports*, 10, 148-156. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71537-2>
4. Haseena, M., Malik, M.F., Javed, A., Arshad, S., Asif, N., Zulfiqar, Sh. & Hanif, J. (2017). Water pollution and human health. *Environmental Risk Assessment and Remediation*, 1(3), 16-19. <https://doi.org/10.4066/2529-8046.100020>
5. Chaudhry, F. N. & Malik, M. F. (2017). Factors Affecting Water Pollution: A Review. *J. Ecosyst Ecology*, 7(1), 225-230. <https://doi.org/10.4172/2157-7625.1000225>

6. Kravchenko, M. V. (2015). Physico-chemical analysis of natural drinking water from different sources of water supply. *Ecological safety and nature management*, 19(3), 52–60. (In Ukrainian)
7. Dirisu, G. B., Okonkwo, U. C., Okokpujie, I. P. & Fayomi, S. I. (2019). Comparative analysis of the effectiveness of reverse osmosis and ultraviolet radiation of water treatment. *Journal of Ecological Engineering*, 20(1), 61-75. <https://doi.org/10.12911/22998993/93978>
8. Oguma, K., Rattanakul, S. & Masaike, M. (2019). Inactivation of health-related microorganisms in water using UV light-emitting diodes. *Water Supply.*, 19(5), 1507–1514. <https://doi.org/10.2166/ws.2019.022>
9. Nguyen, T. M., Suwan, P., Koottatep, Th. & Becka, S. E. (2019). Application of a novel, continuous-feeding ultraviolet light emitting diode (UV-LED) system to disinfect domestic wastewater for discharge or agricultural reuse. *Water Res.*, 153, 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.01.006>
10. Wei, C., Zhang, F., Hu, Y., Feng, C. & Wu, H. (2017). Ozonation in water treatment: The generation, basic properties of ozone and its practical application. *Reviews in Chemical Engineering*, 33(1), 302-315. <https://doi.org/10.1515/revce-2016-0008>
11. Potapchenko, N. G., Levadnaya, T. I., Soboleva, N. M. et al. (2007). Kinetics of death of E. coli under the influence of ozone. *Chemistry and technology of water*, 29(6), 582-594. (In Russia)
12. Manasfi, T. (2021). Ozonation in drinking water treatment: an overview of general and practical aspects, mechanisms, kinetics, and byproduct formation. *Comprehensive Analytical Chemistry*. 92, 85-116. <https://doi.org/10.1016/bs.coac.2021.02.003>
13. Pawełek, J. & Bergel, T. (2019). Ozone water treatment in small water purification plants in Poland – Mszana Dolna case study. *E3S Web of Conference*, 86, 29-32. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20198600029>
14. Santos, L. M., Silva, E. S., Oliveira, F. O., Rodrigues, L. A., Neves, P. R., Meira, C. S., Moreira, G. A., Lobato, G. M., Nascimento, C., Gerhardt, M. ... Machado, B.A.S. (2021). Ozonized Water in Microbial Control: Analysis of the Stability, In Vitro Biocidal Potential, and Cytotoxicity. *Biology*, 10(6), 525-545. <https://doi.org/10.3390/biology10060525>
15. Raed A. A.-J., Vasantha A., Talal Y. (2015). Impact of pulsed ultrasound on bacteria reduction of natural waters. *Ultrasonics Sonochemistry*, 27, 137–147. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.05.007>
16. Luhovskyi, O. F., Gryshko, I. A. & Bernyk, I. M. (2018). Enhancing the Efficiency of Ultrasonic Wastewater Disinfection Technology. *Journal of Water Chemistry and Technology*, 40, 95-101. <https://doi.org/10.3103/S1063455X18020078>
17. Li, Y., Shi, X., Zhang, Zh. & Peng, Y. (2019). Enhanced coagulation by high-frequency ultrasound in Microcystis aeruginosa-laden water: Strategies and mechanisms. *Ultrasonics Sonochem.*, 55, 232-242. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.01.022>
18. Dai, Ch., Xiong, F., He, R. & Zhang, W. (2017). Effects of low-intensity ultrasound on the growth, cell membrane permeability and ethanol tolerance of Saccharomyces cerevisiae. *Ultrasonics Sonochem.*, 36, 191-197. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.11.035>
19. Iorio, M. C., Bevilacqua, A. & Corbo, M. R. (2019). A case study on the use of ultrasound for the inhibition of Escherichia coli O157:H7 and Listeria monocytogenes in almond milk. *Ultrasonics Sonochem.*, 52, 477-483. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.12.026>
20. Kong, Y., Peng, Y. & Zhang, Zh. (2019). Removal of Microcystis aeruginosa by ultrasound: Inactivation mechanism and release of algal organic matter. *Ultrasonics Sonochem.*, 56, 447-457. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.04.017>
21. Myahchenko, O. P. (2010). Fundamentals of ecology. Kyiv: Center for Educational Literature. (In Ukrainian)
22. Koval, I. (2020). Influence of Aerobic Bacteria Concentration on the Process of its Survival in the Presence of Oxygen. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University Series «Ecology»*, (23), 118-123. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-23-10> (In Ukrainian)
23. Ruigrok, M.J.R., Tomar, J. & Frijlink, H.W. (2019). The effects of oxygen concentration on cell death, anti-oxidant transcription, acute inflammation, and cell proliferation in precision-cut lung slices. *Sci. Rep.*, 9, 16239-16248. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52813-2>
24. Baez, A. & Shiloach, J. (2014). Effect of elevated oxygen concentration on bacteria, yeasts, and cells propagated for production of biological compounds. *Microb. Cell Fact.*, 13, 181-193. <https://doi.org/10.1186/s12934-014-0181-5>
25. Koval, I. (2020). Influence of Oxygen and Carbon Dioxide on Water Purification from Bacteria and Yeast Under Cavitation Conditions. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University Series «Ecology»*, (22), 75-81. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-22-07> (In Ukrainian)
26. Koval, I. (2020). Predominant microflora of natural and wastewaters of lviv region. Chemistry, Technology and Application of Substances, 3(2), 121-126. <https://doi.org/10.23939/ctas2020.02.121> (In Ukrainian)
27. Koval, I. & Starchevskyy, V. (2020). Gas nature effect on the destruction of various microorganisms under cavitation action. *Chemistry & Chemical Technology*, 14(2), 264-270. <https://doi.org/10.23939/chcht14.02.264>

The article was received by the editors 15.09.2021
The article is recommended for printing 22.10.2021

И. З. КОВАЛЬ, канд. техн. наук,
доцент кафедры физической, аналитической и общей химии
e-mail: rynazk@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8154-4154>
Национальный университет "Львовская политехника",
ул. С. Бандеры, 12, г. Львов, 79013, Украина

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ ГАЗОВ НА ОЧИСТКУ ВОДЫ С ОДИНАКОВОЙ МИКРОБНОЙ НАГРУЗКОЙ

Цель. Исследовать действие газов на процесс водоочистки от аэробных микроорганизмов (МО) с одинаковым их исходным содержанием в водной среде. Установить природу газа, в атмосфере которого достигнуто высшей степени разрушенных микробных клеток в единице объема воды.

Методы. Использовано аэробные бактерии рода *Bacillus cereus* с исходным их содержанием $7 \cdot 10^4$ КОЕ/см³. Исследуемой водой служила модельная вода, созданная на основе дистиллированной деаэрированной воды с внесением в нее бактерий конкретного вида. Исследуемыми газами были кислород, углекислый газ, а также инертные - аргон и гелий. Условия процесса: продолжительность – 2 часа, скорость барботирования газов - $0,2 \text{ см}^3/\text{с}$, $T = 288 \pm 1 \text{ К}$. Использовали количественный метод подсчета выходного и конечного числа микроорганизмов (ЧМ) путем посева образцов исследуемой воды на питательную среду в чашки Петри до и после экспериментов.

Результаты. Показано разную эффективность процесса водоочистки в зависимости от природы газа. Представлены изменение величины ЧМ от времени барботирования газов. Рассчитано степени разрушения исследуемых микроорганизмов в зависимости от режима обработки воды и продолжительности процесса. Кривые действия газов на процесс очистки воды от бактерий имели нисходящий характер на протяжении всей продолжительности эксперимента, за исключением действия кислорода. Влияние кислорода на процесс разрушения МО состоит из двух стадий - незначительное накопление клеток (I стадия) и дальнейшее их разрушение на II стадии. Процент накопления клеток в течение 3600 с подачи кислорода в водную среду составил 9,43%, что обусловлено потреблением бактериями барботованного кислорода. Это и привело к низкой эффективности процесса для действия кислорода в конечном итоге (D_d только 34,73%). Наибольшую эффективность разрушения МО выявлено при подаче углекислого газа ($D_d = 91,0\%$), что, очевидно, обусловлено увеличением кислотности исследуемой среды ($\text{pH}_{\text{начальное}} = 6,1$, а $\text{pH}_{\text{конечное}} = 4,3$). Изучено влияние гелия на очистку воды при различной микробной нагрузке. Показано, что эффективность разрушения клеток возрастает по уменьшению их количества в единице объема воды.

Выводы. Показано влияние природы различных газов на процесс разрушения аэробных МО в воде с одинаковой и разной микробной нагрузкой. Установлено, что процесс очистки воды от МО зависит от природы барботованного газа. Экспериментально определено газ, подача которого позволила достичь наибольшего количества погибших клеток после 7200 с. Самую высокую эффективность обеззараживания воды достигнуто во время действия углекислого газа. Построено относительный ряд эффективного действия исследуемых газов на очистку микробной воды.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *Bacillus cereus*, кислород, углекислый газ, аргон, гелий, вода

Статья поступила в редакцию 15.09.2021
Статья рекомендована в печать 22.10.2021

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-12>
УДК (UDC): 582.916.16:57.017.64: 574.2:57.045(477.25)

Р. К. МАТЯШУК¹, канд. біол. наук, ст. наук. співр.,
завідувач відділом дендрології та паркознавства
e-mail: raisakiev2015@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1929-0522>

І. В. ТКАЧЕНКО¹
провідний інженер відділу дендрології та паркознавства
e-mail: irina_tkachenko77@ukr.net

¹Державна установа «Інститут еволюційної екології НАН України»
вул. Акад. Лебедева, 37, м. Київ, 03143, Україна

ПИЛОК РОСЛИН ЧАГАРНИКОВОГО ЯРУСУ МІСЬКОГО ЗЕЛЕНОВОГО ПРОСТОРУ ЯК ІНДИКАТОР СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ МЕГАПОЛІСУ (НА ПРИКЛАДІ ПРЕДСТАВНИКІВ РОДУ ФОРЗИЦІЯ)

Особливо важливою є оцінка потенційної мутагенності повітряного середовища саме в зоні активної життєдіяльності людини. Вважаємо, що багаторічні рослини чагарникового ярусу є найбільш інформативними об'єктами таких досліджень.

Мета. Оцінка чутливості чоловічого гапліодного покоління *Forsythia suspensa* Vahl. до стану повітряного середовища м. Київ в приземному шарі та перспективність використання цього виду для індикації якості атмосферного повітря та оцінки можливих ризиків для здоров'я населення.

Методи. Польові, статистичні. Стан генеративної сфери *F. suspense* визначали за фертильністю і морфометричними показниками пилку, визначенням індексу форми та частки аномальних зерен в популяції негідратованого пилку.

Результати. Встановлено, що спадковий апарат форзиції звисаючої є чутливим до комплексу екзогенних чинників середовища вирощування в паркових екосистемах м. Києва. Підтверджено, що взаємодія факторів «точка збору+умови року» є статистично значимою в мінливості ознак якості пилку, а також позначається на розмірах пилку *F. suspensa*. Відмічений більший вплив аерополітантів в приземному шарі атмосферного повітря на розмір екваторіального діаметру пилкових зерен цього виду рослин. Виявлене зменшення рівня інтегрального забруднення повітря на більшості ділянках дослідження столиці через запровадження у 2020 і 2021 рр. обмежувальних протиепідемічних заходів. Ці зміни умов середовища вирощування, особливо за відсутності впливу розвинутої мережі автомобільних шляхів, позначились на частці аномальних зерен в популяціях пилку на досліджених ділянках.

Висновки. Відмічена доцільність подальшого використання пилку *F. suspensa* для оцінки стану довілля за токсико-мутагенним фоном та зонування паркових екосистем за градієнтом антропогенного впливу. Доповнення результатів біоіндикаційних досліджень з використанням, зокрема, пилку *F. suspensa*, відомостями про стан здоров'я населення та даними щодо забруднення атмосферного повітря підвищує ефективність індикації стану навколишнього середовища Києва.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: фертильність, індекс форми, аномальний пилко, аеротехногенне забруднення, палінотоксичність, біоіндикація

Як цитувати: Матяшук Р. К., Ткаченко І. В. Пилко рослин чагарникового ярусу міського зеленого простору Як індикатор стану атмосферного повітря мегаполісу (на прикладі представників роду Форзиція). *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2021. Вип. 25. С. 135-156. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-12>

In cites: Matiashuk, R. K., & Tkachenko, I. V. (2021). The pollen of plants of the shrub layer in the urban green space as an indicator of the state of atmospheric air of the city (on the example of representatives of the Genus *Forsythia*). *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Ecology»*, (25), 135-156. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-12>

© Матяшук Р. К., Ткаченко І. В., 2021



[This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0.](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Вступ

Питання якості атмосферного повітря все тісніше пов'язується з якістю життя та станом здоров'я людей та набуває більшої актуальності при розгляді глобальних проблем зростаючого антропогенного навантаження на довкілля [1-5]. Навколишнє природне середовище в Україні потерпає від значного антропогенного та техногенного навантаження і оцінка його стану, перш за все, базується на показниках забруднення повітря та порушень озонового шару атмосфери. Досягнути гармонійного поєднання між забезпеченням показників економічного зростання якості життя людей та дотриманням екологічної безпеки вкрай складно, але надзвичайно важливо зуміти зберегти довкілля придатним для проживання наступних поколінь [6].

Серед цілей прийнятого Національного плану з охорони навколишнього природного середовища у найближчі 5 років, який був розроблений з метою реалізації Стратегії державної екологічної політики України на період до 2030 року, вагоме місце відведене розвитку системи моніторингу атмосферного повітря, тому що його забруднення стало однією з найгостріших екологічних проблем сучасності [7]. Незважаючи на певний спад виробництва в Україні, рівень забруднення атмосферного повітря великих міст і промислових регіонів залишається стабільно високим. Фактично дві третини населення країни проживає на територіях, де стан атмосферного повітря не відповідає гігієнічним нормативам, що впливає на загальну захворюваність населення [6, 8-10]. За даними ВОЗ в світі 91% населення планети (станом на 2016 р.) проживає в районах, де рівень забруднення повітря перевищує встановлені в Рекомендаціях ВОЗ значення, саме цей фактор визнаний основним у комплексі чинників, пов'язаних з оточуючим людину середовищем [11]. Кількість населення, яке потрапляє в зону підвищеного екологічного ризику за фактором забруднення атмосферного повітря стрімко збільшується в світі і в Україні через зростаючий рівень урбанізації [1].

Моніторинг стану забруднення атмосферного повітря шкідливими речовинами хімічного, фізичного та біологічного походження набуває ще більшої актуальності з урахуванням погіршення соціально-економічних умов, екологічної ситуації і фактично відсутності в нашій країні належного системного соціально-гігієнічного моніторингу факторів

середовища життєдіяльності людини [12]. В останні роки дослідження стану атмосферного повітря України доповнились застосуванням супутникових спостережень [13-15], вдосконалюється система моделювання розподілу забруднюючих речовин та прогнозування ризиків для здоров'я населення [16-24], проте паліноіндикація якості оточуючого середовища вже наприкінці минулого століття була визнана надійною ланкою в системі екологічного моніторингу [25-27]. Тест «Стерильність пилку рослин – фітоіндикаторів», що зростають на досліджуваних територіях, успішно застосовується для визначення загальної токсичності (або потенційної мутагенності) повітряного басейну і території в цілому, а в доповненні з відомостями про стан здоров'я населення характеризує екологічний стан регіону [22, 27-29]. Встановлено, що рослини значно раніше за людей і тварин реагують на зміни в оточуючому середовищі, а реакції генеративної сфери рослин (зокрема – пилку) і тварин загалом адекватні [30, 31]. В екологічних дослідженнях значна увага приділяється рослинам ще й тому, що вони є першою ланкою трофічної системи – продуцентами кисню та органічних речовин [32]. Пилок рослин, його морфологічні особливості та якісні і кількісні показники все частіше обирають об'єктами біомоніторингу також з огляду на можливість скринінгу великого обсягу проб, швидкість проведення дослідження, відсутність потреби у складному лабораторному обладнанні [33-35].

Довготривала комплексна дія екзогенних факторів середовища більшою мірою починається на багаторічних рослинах через кумулятивний ефект основних складових забруднення і пролонгований вплив на різні стадії розвитку їх організму. Саме багаторічні рослини, перебуваючи в умовах тривалої експозиції, особливо на урбанізованих територіях, характеризуються рядом переваг при індикації довготермінових тенденцій і буферної здатності біологічних систем по відношенню до комплексу усіх недиференційованих факторів навколишнього середовища. Тому все частіше їх використовують для індикації стану навколишнього середовища та зонування територій за екологічними ризиками [20, 36, 37].

Розпочате авторами раніше вивчення стану пилку багаторічних рослин в міських насадженнях має за мету доповнити комплексне біоіндикаційне дослідження стану та

зонування паркових екосистем м. Києва за градієнтом антропогенного впливу [38-41]. Метою роботи є оцінка чутливості чоловічого гаплоїдного покоління *Forsythia suspensa* Vahl. до стану повітряного середовища м. Київ в приземному шарі і перспективність використання цього виду для індикації якості атмосферного повітря та оцінки можливих ризиків для здоров'я населення. До переліку видів-фітоіндикаторів за стійкістю пилку до дії несприятливих екологічних факторів (згідно методичних рекомендацій «Обстеження та районування території за ступенем впливу антропогенних чинників на стан об'єктів довкілля з використанням цитогенетичних методів») внесена *Forsythia europaea* Degen. як високочутливий вид [42]. Але за поширенням у зелених насадженнях агломерації Києва і можливістю використання в біоіндикаційних дослідженнях є актуальним вивчення *Forsythia suspensa* Vahl. за чутливістю генеративних органів до комплексу екзогенних чинників середовища вирощування.

Антропогенне і техногенне навантаження на атмосферне повітря в Україні у кілька разів перевищує відповідні показники у розвинутих країнах світу [8, 43]. За даними Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського з 1993 р. відмічається стабільне зростання забруднення атмосферного повітря усіх населених пунктів України, на яких здійснюються спостереження. Так,

якщо в 1995 р. сумарний показник гранично допустимого забруднення повітря на досліджених територіях України у 3,7 разів перевищував межі допустимого, то в 2008 р. уже у 7,1-7,3 рази [8, 9, 44]. Серед територій зі стабільно зростаючим рівнем забруднення атмосфери в 2017-2018 роки наведені, зокрема, Херсонська, Одеська, Житомирська області, але «лідире» за збільшенням обсягів викидів в атмосферу Київська область (на 68,8%). У м. Києві визнано помірно-небезпечний рівень вмісту досліджених канцерогенних речовин за кратністю перевищення показників забруднення атмосферного повітря. Сумарний канцерогенний ризик для здоров'я населення у столиці становить $4,7 \cdot 10^{-3}$ (максимальний - $9,5 \cdot 10^{-3}$ у м. Кременчуці з превалюванням нафтопереробної промисловості) [8]. Дослідженнями встановлено, що при збереженні сучасних тенденцій в економіці та природоохоронній діяльності в більшості міст України концентрації, наприклад NO_2 , можуть зрости на 38% [45]. Такий стан повітряного середовища, а також погодно-кліматичні зміни (зокрема, встановлені впродовж останніх років відхилення від норми середньої місячної температури повітря та місячної кількості опадів по м. Київ) неминуче позначаються на стані урбоекосистеми столиці і здоров'ї її жителів [23, 46]. Тому моніторинг стану атмосферного повітря набуває все більшого значення та необхідності в доповненні новими дослідженнями.

Матеріали і методи

Впродовж 2019-2021 рр. досліджували чоловіче гаплоїдне покоління (пилкові зерна) *Forsythia suspensa* Vahl., використаної в декоративних насадженнях паркових та лісопаркових екосистем та вуличному озелененні м. Києва для моніторингу стану атмосферного повітря столиці. Ділянки (їх нумерація наводиться далі) розташовані в шести адміністративних районах міста.

Голосіївський р-н

1. ППСМ «Феофанія» вул. Академіка Лебедева, 37
2. ЛПК «Феофанія» вул. Академіка Лебедева, 31
3. Голосіївський парк імені М. Рильського, пр. Голосіївський, 98/2
4. Одеська площа вул. Академіка Глушкова, 13в
5. НУБіП України, вул. Героїв Оборони, 2а
Шевченківський р-н

6. Ботанічний сад ім. О. В. Фоміна вул. Симона Петлюри, 1
 7. м. Нивки просп. Перемоги, 86
 8. м. Шулявка, вул. Гетьмана, 5
 9. Сирецький дендрологічний парк вул. Тираспільська, 43
 10. Парк відпочинку по вул. Олени Теліги, 33
Печерський р-н
 11. Маріїнський парк, вул. Грушевського, 1
Оболонський р-н
 12. Парк культури та відпочинку «Пуца Водиця» вул. Ф. Максименка, 19
Дніпровський р-н
 13. Автостанція «Дарниця», вул. Магнітогорська, 1а
 14. Парк «Перемога», пр. Визволителів, 2
Деснянський р-н
 15. Парк «Кіото» Аля Сакур, вул. Кіото, 9
- Зразки матеріалу відбирали у фазу масової бутонізації та квітання рослин. У кожному варіанті досліджено не менше 300

пилкових зерен. У разі відсутності можливості збору матеріалу на окремих ділянках в таблицях і рисунках вказаний «0» або «-». Стан генеративної сфери *F. suspensa* визначали за фертильністю пилку (%) з використанням йодного методу виявлення крохмалю в зрілих пилкових зернах [47] та за морфометричними показниками сухого пилку (розмір зерен за довжиною полярної осі (P) та екваторіального діаметру (E), мкм). Розраховували індекс форми як середнє значення співвідношення довжини та ширини екваторіальних проєкцій пилкових зерен. Наближені значення індексу до 1,0 свідчить про зменшення видовженості форми пилкового зерна [48]. Типова форма сухого пилкового зерна – сфероїдальна, за співвідношенням P / E – витягнута [49].

Для оцінки метеорологічних умов середовища вирощування рослин та аналізу стану забруднення атмосферного повітря використані відомості Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського (далі – ЦГО), матеріали Національної доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2018 році, інформація Державної служби статистики України (зокрема, викладена в статистичних збірниках «Україна в цифрах» та «Довкілля України»), дані Головного управління статистики у м. Києві та ін. [50-58]. Відомості щодо розташування стаціонарних постів спостережень за забрудненням (далі – ПСЗ) ЦГО та дослідних ділянок наведені на карто-схемі (рис. 1). За територіальним розташуванням поста №2 дані вико-

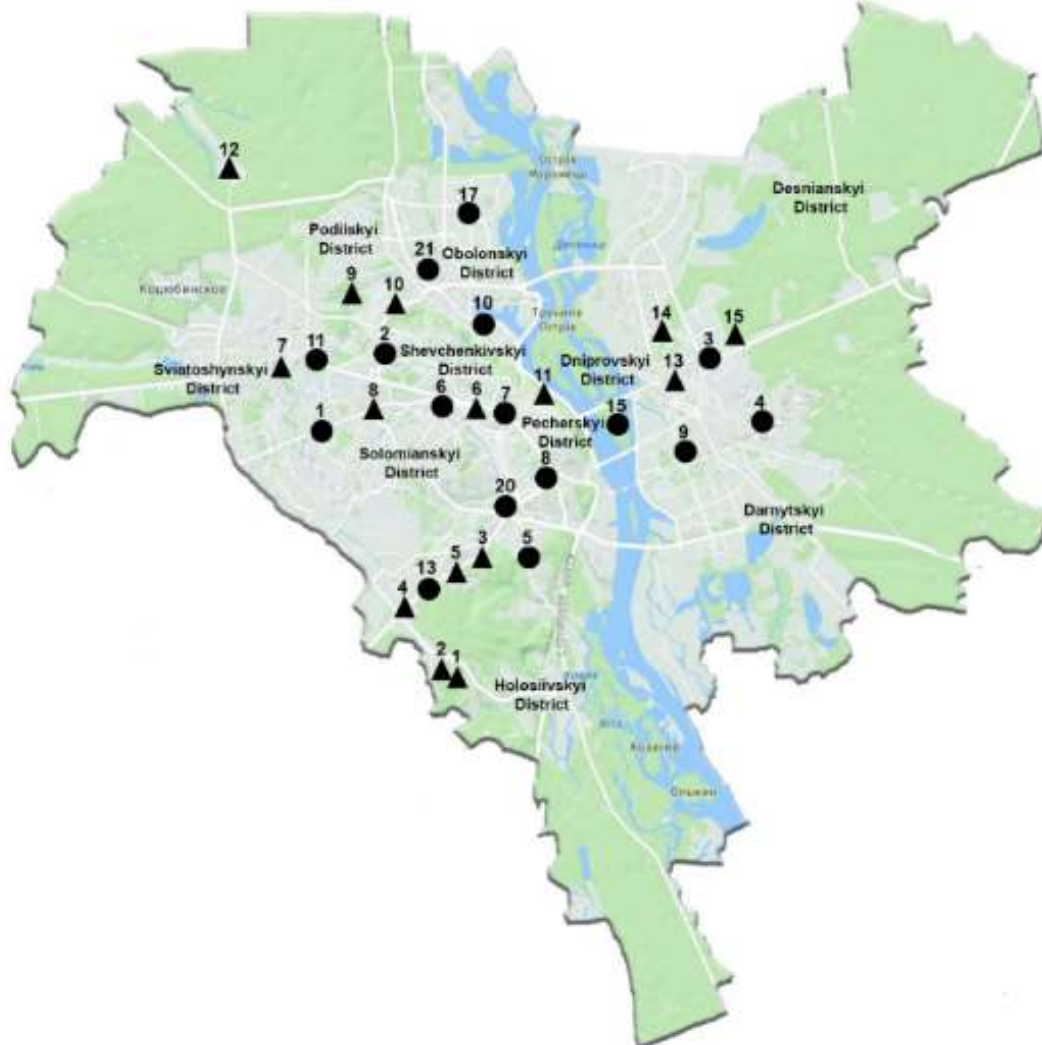


Рис. 1 – Карта-схема розташування стаціонарних постів спостережень за забрудненням Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського (позначено «●») та дослідних ділянок (позначка «▲»)

Fig.1 – Map-scheme of location the stationary posts of the Central Geophysical Observatory named after Boris Sreznevsky for pollution observation (marked "●") and research sites (marked "▲")

тані для ділянок – 8, 9 і 10; поста № 3 – для 13,14 та 15 ділянок; поста №5 – для 1, 2 та 3 ділянок; поста №6 – для 6 ділянки; поста №7 – для 11; поста №11 – для 7; поста №20 – для 4 і 5 (оскільки пост №13 здійснює дослідження не всіх домішок забруднення повітря); для ділянки 12 вважаємо можливим використання відомостей з постів №21 та №17, розташованих в Оболонському районі міста на приблизно однаковій відстані від Парку культури та відпочинку «Пуца Водиця». Територіальне розташування ділянок наступне: ділянки №1-5 – Голосіївський район, №6-10 –

Шевченківський, №11 – Печерський, №12 – Оболонський, №13-14 – Дніпровський, №15 – Деснянський район столиці.

Препарати досліджували за допомогою мікроскопа Nikon Eclipse E100 з фотоапаратом Canon 1300D BODY і програмного забезпечення. Вимірювання здійснювали в програмі AxioVision Rel. 4.8. Статистичну обробку даних здійснювали за загальноприйнятими методами дисперсного аналізу згідно рекомендацій Б. О. Доспехова [59] за допомогою програми MS Excel 97-2003.

Результати дослідження

У зелених насадженнях більшості об'єктів благоустрою столиці та інших міст Правобережного Лісостепу України найчастіше використовують форзицію звисаючу (*F. suspensa* (Thunb.) Vahl.) та форзицію європейську (*F. europaea* Degen. et Bald.) [46, 47]. Разом з іншими чагарниковими декоративними рослинами чагарникового ярусу насаджень, форзиція формує генеративні органи на висоті 2-3 м. Рослини саме цього ярусу перебувають в середовищі максимального впливу політантаів (викидів забруднюючих речовин в атмосферу від стаціонарних та пересувних джерел) та інших факторів повітряного середовища на дихальну систему людей, тому, на нашу думку, можуть бути найбільш інформативними об'єктами оцінки потенційної мутагенності території.

Оскільки у представників роду *Forsythia* генеративні бруньки закладаються на

приростах минулорічних пагонів, а перебіг фази цвітіння залежить від якості умов середовища [48], для оцінки стану генеративних органів *F. suspensa* були враховані погодні та екологічні умови як поточного, так і попереднього років вирощування рослин. На якісні показники стану пилку форзиції, зокрема, значний вплив мають умови росту і розвитку рослин в літні та осінні місяці попереднього року, а безпосередньо умови березня-квітня поточного року (період бутонізації та квітнення рослин) позначаються також на морфометричних характеристиках пилкових зерен [27]. Слід відмітити, що відхилення від норми середньої місячної температури в період формування генеративних органів форзиції в 2019 р. становило від 5,4°C (липень) до 3,0°C (жовтень), а в 2020 р. від 3,5°C до 4,4°C, відповідно (табл. 1) [49, 50].

Таблиця 1
Відхилення від норми середньої місячної температури повітря та місячної кількості опадів у Києві в 2019 р. і 2020 р. (за даними ЦГО)

Table 1
Deviations from the norm of the average monthly air temperature and monthly precipitation in Kyiv in 2019 and 2020 (according to the CGO)

Характеристика	місяці/роки	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За рік
Середня місячна температура повітря (°C)	норма (1961-1990 pp.)	-5,6	-4,2	0,7	8,7	15,2	18,2	19,3	18,6	13,9	8,1	2,1	-2,3	7,7
	2019 р.	-4,5	0,6	5,1	10,6	17,0	23,6	19,8	20,7	15,9	11,1	4,6	2,7	10,6
	відхилення	1,1	4,8	4,4	1,9	1,8	5,4	0,5	2,1	2,0	3,0	2,5	5,0	2,9
	2020 р.	0,8	2,5	6,5	9,9	12,4	21,7	21,9	21,4	18,4	12,5	3,8	-0,5	10,9
	відхилення	6,4	6,7	5,8	1,2	-2,8	3,5	2,6	2,8	4,5	4,4	1,7	1,8	3,2
Місячна кількість опадів (мм)	норма	48	46	39	49	53	73	88	69	47	35	51	52	650
	2019 р.	45	34	32	48	81	67	73	45	22	13	28	33	521
	відхилення	-3	-12	-7	-1	28	-6	-15	-24	-25	-22	-26	-19	-132
	2020 р.	21	46	15	39	122	49	47	31	31	101	30	48	580
	відхилення	-27	0	-24	-10	69	-24	-41	-38	-16	66	-21	-4	-70

Відхилення від норми місячної кількості опадів становило -132 мм в 2019 р. і -70 мм у 2020 р. У 2019 р. негативний вплив фактору температури повітря на багаторічні рослини був незначним, оскільки відхилення від багаторічної норми становило 1,8-1,9°C на початку вегетації форзиції, а стрімке збільшення (на 5,4°C) середньої місячної температури повітря у червні більше позначилось вже на формуванні наступного покоління генеративних бруньок. Розвиток бутонів і квітування рослин у 2020 р. проходило в дещо складніших умовах – відхилення від норми середньої місячної температури становило 3,2°C з аномальним похолоданням в квітні-травні (період масової бутонізації та квітування форзиції) та значною нестачею вологи в цей період (місячна кількість опадів на 10-24 мм менше норми), при тому, що рослини не отримали достатнього запасу вологи за зимовий період – місячна кількість опадів сягала 24-27 мм взимку (див. табл. 1). Формування генеративних бруньок у 2020 р. відбувалось в умовах ще більшого зростання середньої місячної температури повітря (на 2,6-4,5°C вище норми у липні-жовтні) та тривалого (червень-вересень) значного (максимально на 41 мм менше норми) зменшення місячної кількості опадів. У 2021 р. в період бутонізації та квітування *F. suspensa* відмічалось менше відхилення від норми середньої місячної температури повітря та місячної кількості опадів у Києві (табл. 2).

Щодо оцінки якості повітряного середовища користувались результатами багаторічних спостережень гідрометеорологічних організацій ДСНС України [51]. Зокрема відмічається, що на частині території країни та, зокрема, в Києві впродовж останніх років зберігаються підвищені рівні забруднення навколиш-

нього середовища, які зумовлені потраплянням забруднювальних речовин від об'єктів промисловості та енергетики, будівництва і житлово-комунального господарств, транспорту, а також у ході поводження з відходами виробництва та споживання [36]. За основними видами економічної діяльності домінуюча частка викидів забруднюючих речовин в Україні надходить від переробної промисловості (34-37%), постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря (39-40%), значні обсяги викидів надходять також від підприємств добувної та металургійної промисловості (рис. 2) [30]. Хоча за статистичними даними загальною по Україні викиди забруднюючих речовин та діоксиду вуглецю в атмосферне повітря дещо знизилась – з 4521,3 і 4686,6 тис. т у 2015 та 2016 рр. до 4108,3 тис. т у 2019 р., 4017,3 тис. т у 2020 р., переважно через зменшення викидів стаціонарними джерелами забруднення (з 3078,1 тис. т у 2016 р. до 2459,5 тис. т у 2019 р. та 2238,6 тис. т у 2020 р.).

Водночас відмічено зростання обсягів викидів від пересувних джерел забруднення (з 1608,5 тис. т у 2016 р. до 1778,7 тис. т у 2020 р.) (рис. 3) (<http://www.ukrstat.gov.ua>). Динаміка викидів забруднюючих речовин та діоксиду вуглецю у атмосферне повітря столиці за останні 15-20 років також підтверджує тенденцію до ускладнення ситуації (рис. 4). За наведеними даними у 2012-2013 рр. понад 87,0% обсягу викидів забруднюючих речовин та діоксиду вуглецю в атмосферне повітря Києва надходило від пересувних джерел [52]. За наступні роки ситуація істотно не змінилась. За останніми відомостями викиди автотранспорту становлять 85% обсягу забруднення повітря в Києві [36, 43].

Таблиця 2

Порівняльне відхилення від норми середньої місячної температури повітря та місячної кількості опадів у Києві у 2021 р.(за даними ЦГО)

Table 2

Comparative deviation from the norm of the average monthly air temperature and monthly precipitation in Kyiv in 2021 (according to the CGO)

Характеристика	місяці/роки	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За рік
Середня місячна температура повітря (°C)	норма (1991-2020 рр.)	-3,2	-2,3	2,5	10,0	15,8	19,5	21,3	20,4	14,9	8,6	2,6	-1,8	9,0
	2021 р.	-2,5	-4,5	2,7	8,0	14,4	21,3	24,6	21,1					
	відхилення	0,7	-2,2	0,2	-2,0	-1,4	1,8	3,3	0,7					
Місячна кількість опадів (мм)	норма	37	39	40	42	65	74	68	56	58	46	46	47	618
	2021 р.	63	62	17	45	74	24	63	65					
	відхилення	26	23	-23	3	9	-50	-5	9					



Рис. 2 – Обсяги викидів забруднюючих речовин в Україні за основними видами економічної діяльності [30]

Fig. 2 – Volumes of pollutant emissions in Ukraine by main types of economic activity [30]

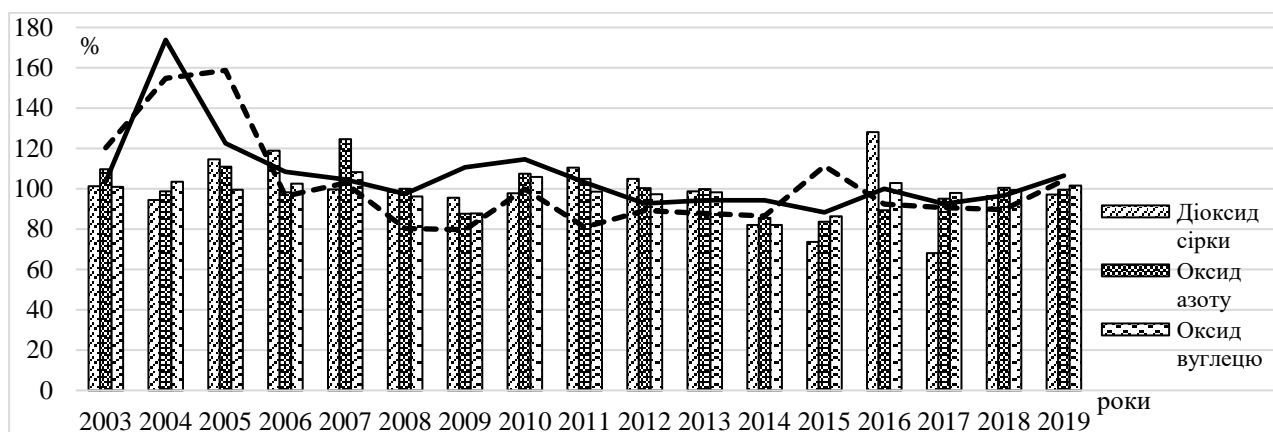


Рис. 3 – Темпи зменшення /збільшення (%) викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря України (за даними Державної служби статистики України)

Fig. 3 - Rate of decrease / increase (%) of pollutant emissions into the atmosphere of Ukraine (according to the State Statistics Service of Ukraine)

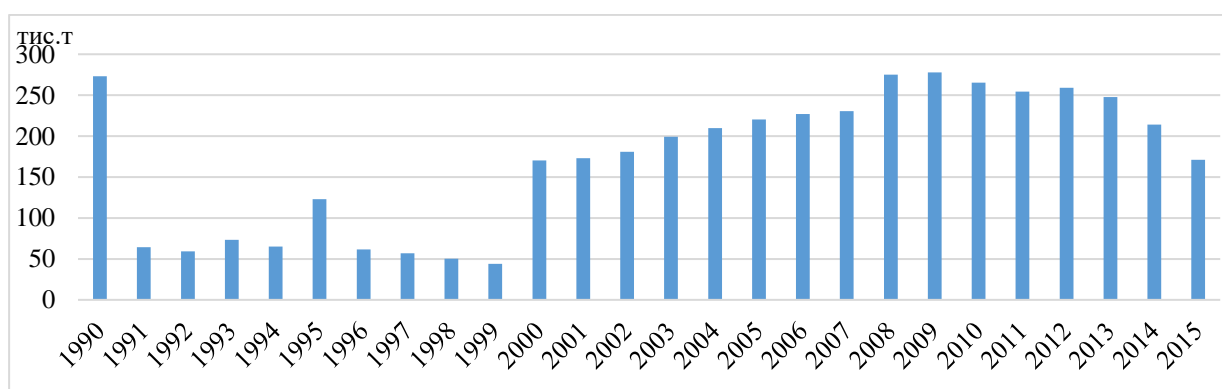


Рис. 4 – Викиди забруднюючих речовин та діоксиду вуглецю у атмосферне повітря Києва (1990–2015 роки) за даними Головного управління статистики м. Києва (<http://kiev.ukrstat.gov.ua/p.php3?c=1730&lang=1>)

Fig. 4 – Emissions of pollutants and carbon dioxide into the atmosphere of Kyiv (1990-2015) according to the Main Department of Statistics of Kyiv (<http://kiev.ukrstat.gov.ua/p.php3?c=1730&lang=1>)

За даними Державної служби статистики України, впродовж останніх років по Україні зростають обсяги викидів забруднюючих речовин і парникових газів від пересувних джерел забруднення на одну особу (37,7 кг у 2016 р., до 39,2 та 42,6 кг у 2019 та 2020 роки) та ще стрімкіше по Києву (з

50,8 кг у 2016 р. до 70,3 кг у 2019 р.) (рис. 5) (<http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu>).

За індексом забруднення атмосфери (ІЗА), який враховує ступінь забруднення атмосферного повітря по п'яти пріоритетних забруднювальних домішках, для більшості міст України відмічається погіршення стану повітряного середовища (рис. 6, 7). У 2020 р.

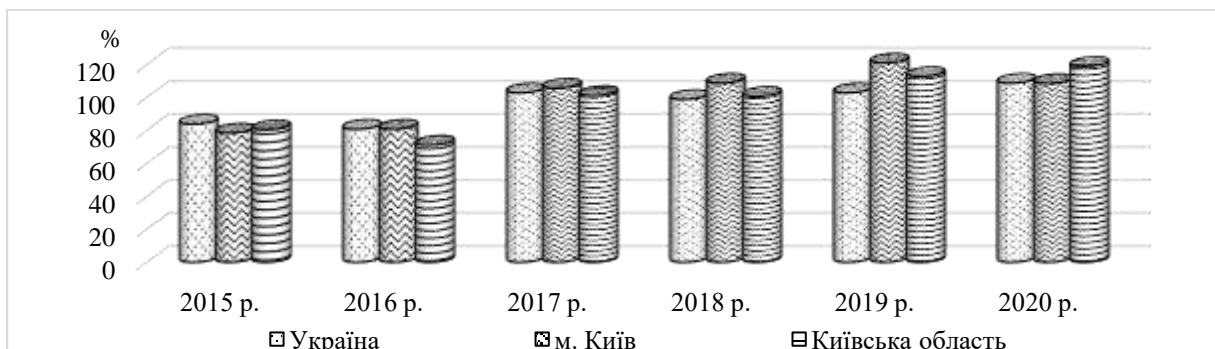


Рис. 5 – Темпи зростання/зниження (%) викидів забруднюючих речовин і парникових газів від пересувних джерел забруднення на одну особу (<http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu>)

Fig. 5 – Indices of increase (decrease) of air emissions and greenhouse gas emissions from mobile transport means per capita, % (<http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu>)

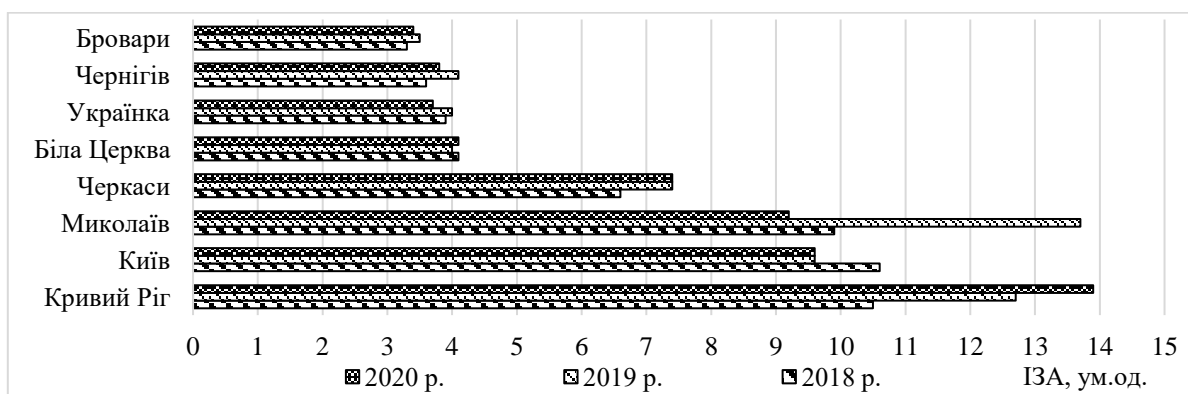


Рис. 6 – Значення індексу забруднення атмосфери (ІЗА) в окремих містах України (за даними ЦГО)

Fig. 6 – The value of the air pollution index (API) in some cities of Ukraine (according to CGO)

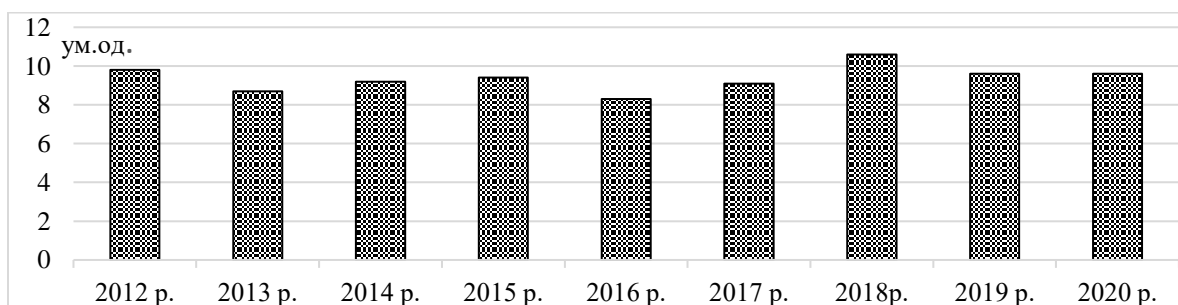


Рис. 7 – Значення індексу забруднення атмосфери (ІЗА) у м. Києві за 2012-2020 рр. (за даними ЦГО)

Fig. 7 - The value of the air pollution index (API) in Kyiv for 2012-2020 (according to CGO)

дуже високий рівень забруднення атмосферного повітря зареєстровано у трьох містах країни: Маріуполь (15,7), Кам'янське (14,8) і Дніпро (14,1). Рівень забруднення повітря, що оцінювався, як високий спостерігався у 9-ти містах: Кривому Розі (13,8), Одесі (12,7), Києві (9,6), Миколаєві (9,2), Херсоні (8,2), Запоріжжі (8,0), Краматорську (7,5), Черкасах (7,3) та Вінниці (7,2). Загальний рівень забруднення атмосферного повітря в Україні за ІЗА становив у 2020 р. 7,0 і оцінювався, як високий. Порівняно з попереднім роком він знизився (було – 8,2 ум.од.) за рахунок деякого зниження середньорічного вмісту формальдегіду, фенолу та фтористого водню [51].

За даними спостережень гідрометеорологічних організацій, на рівень забруднення Києва домінуючий вплив здійснюють такі галузі: автотранспорт, енергетика, хімія, машинобудування, харчова та переробна, будіндустрія [43].

Високий рівень забруднення міста визначають такі речовини: діоксид азоту, формальдегід, діоксид сірки, фенол, оксид азоту, завислі речовини (рис. 8). У 2018 і 2019 рр. спостерігалось перевищення ГДК як за середньорічним так і за максимально разовим вмістом діоксиду сірки, оксиду вуглецю, оксиду азоту, сірководню, фенолу. Тенденція зміни середнього рівня забруднення атмосферного повітря в столиці останні 5 років характеризувалась підвищенням вмісту діоксиду сірки, діоксиду азоту, фенолу, хлористого водню, формальдегіду, стабільністю або зниженням вмісту з усіх інших домішок, що визначались [41, 42]. Дослідження просторово-часових особливостей забруднення атмосферного повітря

столиці, проведене ЦГО, встановило, що в серпні найзабрудненіше повітря, тому що влітку різко зростають концентрації оксиду вуглецю, діоксиду азоту, фенолу, аміаку, формальдегіду та найвища концентрація завислих домішок (пилу) в повітрі. Саме в цей час відбувається формування генеративних бруньок рослин роду *Forsythia* і якість оточуючого середовища позначається на показниках наступного чоловічого гапліодного покоління.

Крім того слід відмітити, що спільною причиною збільшення концентрації таких домішок як діоксид сірки, оксид вуглецю, діоксид азоту, формальдегід є автотранспорт – збільшення кількості автомобілів, зміна якості нафтопродуктів, які поставляються на АЗС міста, а для останньої домішки – збільшення кількості автотранспорту, що працює на газі [53]. Ці складові і викиди при проведенні асфальтування та ремонтних робіт на багатьох шляхах міста, а також погодні умови (зростання середньої місячної температури повітря), особливо у весняно-літній період, переважно і спричиняють зростання рівня забруднення повітря майже всіма домішками та зростання ІЗА загалом по місту. І саме ця частина основних забруднюючих домішок розташована в приземному шарі повітря міста – найбільш вразливого середовищі для життя людей та росту і розвитку рослин. Щодо просторових особливостей забруднення повітря столиці, то воно найбільше поблизу місць з пожевленим рухом автомобілів, навіть на доволі значних відстанях розташування (ПСЗ №6, 7, 11), але пов'язаних магістральними дорогами [53].

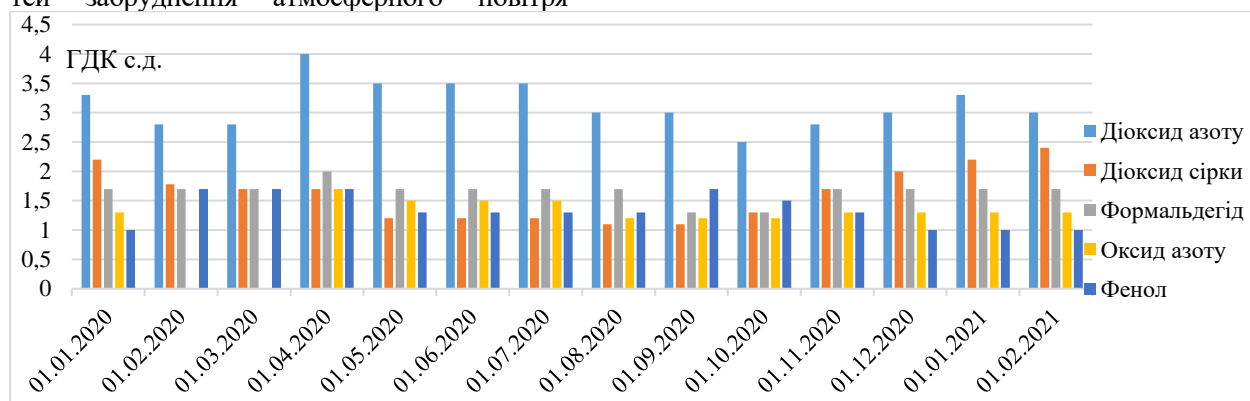


Рис. 8 – Перевищення ГДКс.д. середньомісячних концентрацій п'яти забруднювальних речовин (другого та третього класу небезпеки) по м. Києву (за даними ЦГО)

Fig. 8 – Exceeding the MPCa.d. average monthly concentrations of five pollutants (second and third class of danger) in Kyiv (according to CGO)

Встановлене зростання інтегрального забруднення повітря столиці за останнє десятиліття [53], при цьому стан забруднення та якість атмосферного повітря різних адміністративних районів столиці залежить від розташування підприємств (об'єктів) промисловості, активного будівництва, мережі та завантаженості автомобільних шляхів (рис. 9). Загалом за середньорічними концентраціями забруднювальних домішок впродовж останніх років на 11-ти постах міста рівень забруднення оцінюється, як високий (див. рис. 1, 7) [42, 43, 52, 54].

Місцем з найбільшим забрудненням повітря в столиці є Бессарабська площа (ПСЗ № 7), а високим рівнем забруднення характеризуються: Деміївська площа (ПСЗ №20), проспект Перемоги (район метро Святошин)

(ПСЗ №11), вулиці Олександра Довженка (район метро Шулявка) (ПСЗ №2), Каунаська (ПСЗ №9), Оболонський проспект (ПСЗ №17), площа Перемоги (ПСЗ №6), вулиці Семена Скляренка (ПСЗ №21), Академіка Стражеска (ПСЗ №1), Попудренка (район метро Чернігівська) (ПСЗ №3) та бульвар Лесі Українки (ПСЗ №8). Найменш забрудненим (низький рівень) був район проспекту Науки, 37 (ПСЗ №5) [41-43]. Дослідження стану пилку форзиції нами проводились на територіях із різним рівнем інтегрального забруднення повітря (табл. 3).

Слід відмітити, що умови росту рослин *F. suspensa* на територіях, наближених до розташування, зокрема, ПСЗ №7, 20, 21 значно складніші за рівнем забруднення повітря, ніж, наприклад, на територіях розташування ПСЗ

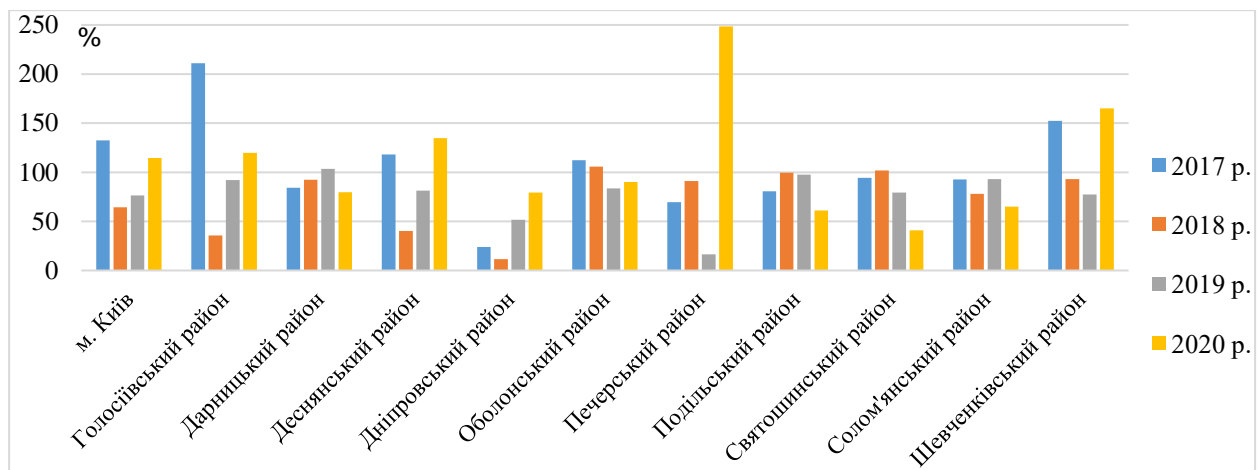


Рис. 9 – Темпи зростання/зниження викидів забруднюючих речовин і парникових газів в атмосферне повітря від стаціонарних джерел викидів по районах Києва (% до попереднього року) (за даними Головного управління статистики у м. Києві)

Fig. 9 – Growth / decrease of emissions of pollutants and greenhouse gases into the atmosphere from stationary emission sources by districts of Kyiv (% to the previous year) (according to the Main Department of Statistics in Kyiv)

№3. За роками спостережень дуже високий ІЗА (від 14.0 ум. од.) був впродовж вегетації рослин в 2018 р. майже на всіх територіях міста. Квітування форзиції в 2019 р. (квітень-травень) відбувалось в більш сприятливих умовах атмосферного повітря в Деснянському, Шевченківському та Голосіївському районах (на ПСЗ № 2, 3, 5, 6), ніж на інших територіях (високий ІЗА на ПСЗ № 7, 17, 20, 21). Умови середовища вирощування рослин позначились на фертильності пилку *F. suspensa* в 2019 р. – найбільш якісний пилок сформувався на дослідних ділянках 6, 9-11, 13, 14 та території парку-пам'ятки садово-паркового мистецтва загальнодержавного значення «Феофанія»

(ППСПМ «Феофанія») (контроль, ділянки 1-2) (рис. 10). Високий життєвий потенціал пилку *F. suspensa* цього року відмічався і у фазу квітування рослин на територіях (ділянки № 1, 6, 13, 14) з меншим рівнем забруднення повітря – ПСЗ №3, 5, 6.

Формування генеративних бруньок форзиції влітку 2019 р. на більшій частині дослідженої території міста відбувалось в умовах меншого забруднення повітря, але ІЗА до завершення вегетації рослин залишався високим, особливо для ПСЗ №7, 11, 17, 20, 21. В першій декаді 2020 р. і навесні стан атмосферного повітря в цих районах міста (за винятком ПСЗ №11) також був переважно гіршим, ніж в

Таблиця 3
Індекс забруднення повітря на досліджених територіях м. Києва (2018-2020 рр.) (за даними ЦГО)

Table 3
Index of air pollution in the studied areas of Kyiv (2018-2020) (according to CSO)

ПСЗ	рік	місяць											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	2018	7,89	8,27	8,88	11,57	13,68	16,37	16,87	19,59	15,31	9,37	8,16	7,51
	2019	7,79	6,77	6,87	7,96	8,76	11,55	8,58	9,60	11,60	11,01	10,66	10,83
	2020	10,78	9,78	9,73	12,72	7,49	8,85	8,75	8,91	8,59	7,59	9,00	9,39
3	2018	6,37	6,11	7,11	9,49	9,82	10,92	12,05	13,58	11,37	8,85	8,13	8,60
	2019	8,93	9,74	7,57	6,03	7,25	10,18	7,04	7,96	7,80	7,37	5,95	6,43
	2020	7,10	6,47	6,61	9,37	4,60	7,23	7,27	5,99	5,79	5,24	6,21	7,11
5	2018	2,11	2,05	2,15	3,39	3,36	4,19	4,34	4,90	3,34	1,75	2,01	2,16
	2019	1,93	1,98	1,94	2,38	2,61	3,08	2,26	2,48	2,37	2,03	1,81	2,09
	2020	2,09	1,77	1,83	2,31	1,77	2,26	2,15	2,04	1,75	1,89	2,05	2,09
6	2018	7,51	7,28	8,36	11,02	12,94	15,49	15,58	18,98	13,41	10,95	9,49	9,75
	2019	9,20	8,60	8,42	9,96	8,04	10,85	8,56	9,28	10,08	8,91	8,24	8,33
	2020	4,13	8,16	8,75	-	-	9,56	9,56	9,23	7,97	7,32	8,79	9,70
7	2018	9,77	9,82	10,44	13,52	17,18	18,8	19,33	22,16	16,53	12,5	10,30	11,08
	2019	10,83	8,31	7,87	8,57	9,06	12,26	9,17	10,43	11,18	10,44	10,35	10,53
	2020	10,69	9,58	9,55	11,72	9,22	11,10	11,17	9,98	8,95	6,00	10,54	10,42
11	2018	8,39	8,85	10,32	11,58	13,69	15,36	16,43	19,89	14,85	10,81	9,29	10,19
	2019	10,44	9,87	9,75	9,57	10,18	12,18	9,33	10,00	11,44	10,58	10,21	-
	2020	-	8,60	9,38	13,56	8,72	9,83	9,78	9,73	8,64	8,22	8,70	10,26
17	2018	8,24	8,66	8,87	11,50	13,03	14,85	15,79	17,95	14,02	10,80	8,50	8,94
	2019	8,92	8,31	7,14	8,02	9,19	13,26	8,93	9,72	11,81	11,94	11,21	11,52
	2020	11,28	9,26	8,93	11,84	8,18	9,97	9,48	8,71	8,58	9,06	9,35	9,18
20	2018	9,16	9,59	9,88	12,96	15,09	17,38	18,43	22,03	16,34	13,08	10,20	10,83
	2019	9,93	7,98	8,09	9,96	10,50	13,47	9,55	10,49	10,51	10,21	9,73	9,40
	2020	12,03	10,44	10,17	14,82	10,49	11,87	11,39	10,14	9,81	9,20	10,54	10,06
21	2018	8,15	8,23	9,29	12,41	13,33	15,37	15,28	16,5	12,49	10,48	9,75	10,94
	2019	9,86	13,28	10,65	9,12	10,67	13,5	9,18	10,08	12,19	12,15	10,67	11,79
	2020	11,19	10,09	9,21	13,27	8,64	9,76	11,06	9,53	9,59	10,59	10,88	-

(примітка : «-» – відсутні дані)

(note: "-" – no data)

попередній рік. Слід відмітити, що на умови оточуючого середовища столиці, безперечно, мали вплив особливості встановлення карантину та запровадження обмежувальних протиепідемічних заходів. Так, у травні-червні майже на всіх дослідних ПСЗ відмічено істотне зниження ІЗА, за винятком територій (наприклад, ПСЗ № 11, 21, 20), на яких розташовані міські магістралі з інтенсивними автотранспортними потоками (проспект Перемоги, Одеська площа, проспект Академіка Палладіна та магістралі в напрямку Пущі Водиці).

Але, на нашу думку, найбільш істотно на якісних показниках пилку *F. suspensa* в 2020 р. позначились аномальні погодні умови в період бутонізації та квітання рослин (див. табл. 1). При цьому відмічено, що важливою складовою формування генеративних органів форзиції звисаючої є мікрокліматичні умови

території. Так, рослини з таких великих масивів озеленення як ботанічний сад НУБіП України (ділянка 5), Сирецький дендропарк (ділянка 9), парк «Кіото» (ділянка 15) в період масового квітання ці рослини мали щонайменше до 35% (ділянка 9) та 45-55% (ділянки 5, 15) фертильного пилку. Тоді як на територіях із вищим рівнем антропогенного навантаження, як наприклад – Маріїнський парк (ділянка 11) в форзиції сформувалось лише 20-30% фертильного пилку.

Тобто, навіть за несприятливих погодних умов формується більше якісного пилку у цього виду на ділянках з менш активним впливом основних забруднюючих домішок в приземному шарі повітря [27]. Статистичну значимість фактору «точка збору» (що відображає рівень антропогенного навантаження) для якості пилку відмічено і для інших рослин [55].

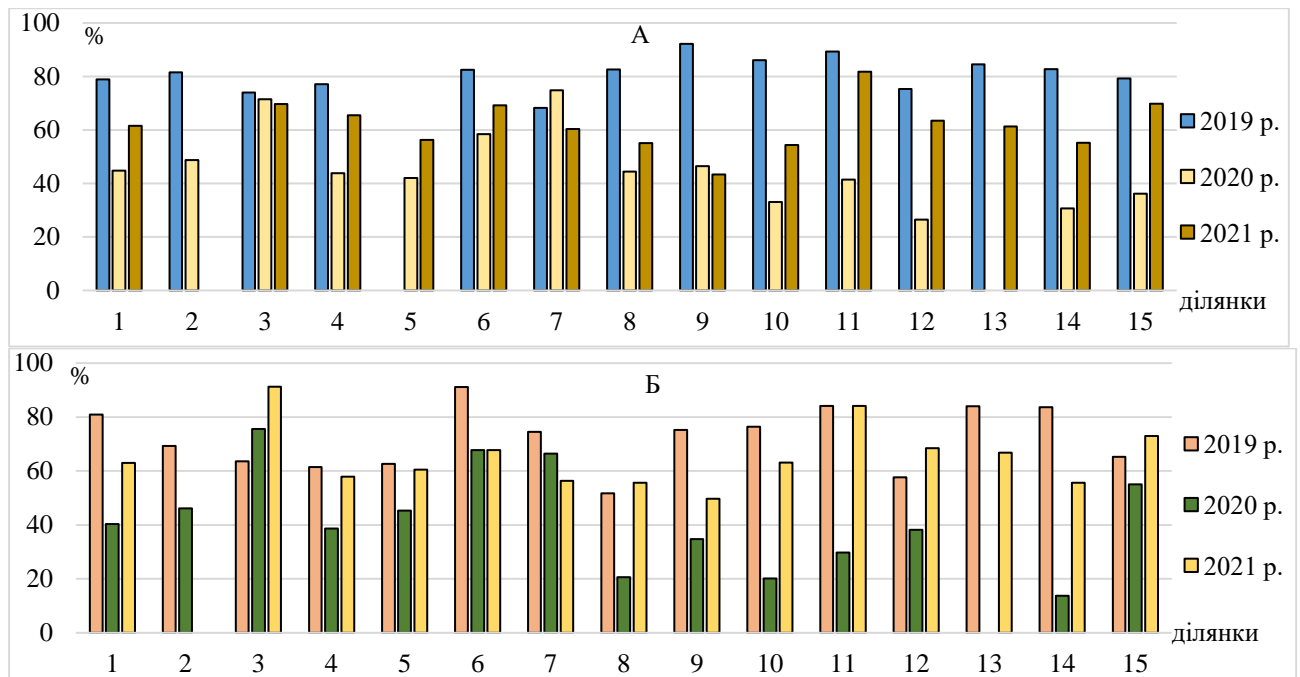


Рис. 10 – Фертильність (%) пилку *Forsythia suspensa* в дозрілому бутоні (фаза бутонізації – А) та в період масового квітування рослин (Б) на моніторингових ділянках Києва (нумерація ділянок наведена вище)

Fig. 10 – Fertility (%) of *Forsythia suspensa* pollen in the mature bud (budding phase - A) and during the period of mass flowering of plants (B) in the monitoring plots of Kyiv (plot numbering is given above)

Слід відмітити, що повторне запровадження обмежувальних протиепідемічних заходів восени 2020 р. зумовило зниження рівня комплексного забруднення атмосферного повітря столиці до найменших значень за досліджений період, хоча для більшості ПСЗ ІЗА залишалась високою. Лише на ділянках озеленення, які за територіальним розташуванням наближені до ПСЗ №3 і 5, формування генеративних бруньок *F. suspensa* відбувалось в умовах низького рівня забруднення повітря. Як показали подальші результати, на всіх дослідних ділянках міста потенціал сформованих цього року генеративних органів форзиції зв'язаної був значно вищим.

Через зменшене антропогенне і техногенне навантаження на атмосферне повітря столиці з введенням обмежувальних протиепідемічних заходів навесні (в квітні-травні) 2021 р., порівняно з цим періодом минулого року (за даними ЦГО), було відмічене зниження загального рівня забруднення повітря, в основному, особливо за рахунок вмісту діоксиду сірки, оксиду і діоксиду азоту та деякого зниження вмісту фенолу, формальдегіду, завислих речовин. Зазначене певне покращення екологічної ситуації столиці в районах дослідження, а також більш сприятливі погодні

умови в період бутонізації і квітування *F. suspensa* в 2021 р., сприяли істотному підвищенню потенційної життєздатності пилку майже на всіх ділянках. Особливо це простежувалось у рослин, що ростуть на територіях з інтенсивним забрудненням повітря в приземному шарі. Так, порівняно з 2020 р. приблизно на 50% і 60-65% (відповідно – в фазу завершення бутонізації і в фазу масового квітування) зросла фертильність пилку форзиції на моніторингових ділянках № 8, 10, 11 (територія озеленення поблизу станції метро Шулявка, Парк відпочинку по вул. Олени Теліги, Маріїнський парк). На 75% і більше якісного пилку було в квітках форзиції (і на 44% – в дозрілих бутонах) у парку «Перемога» (ділянка №14). На територіях з більш сприятливими мікрокліматичними умовами (великі масиви озеленення міста, наприклад), де були менші втрати якісних показників пилку в критичних умовах минулого року, частка фертильних зерен зросла на 20-30% (ділянки 1, 5, 15), порівняно з 2020 роком. Водночас, в умовах найвищого (з досліджених ПСЗ) рівня забруднення повітря (ІЗА дуже високий або наближений до цього) в період максимальної декоративності *F. suspensa* (ІЗА 13,56 на ПСЗ №11) якість

пилку знизилась (ділянка 7). Тобто підтверджується, що взаємодія факторів «точка збору +умови року» є статистично значимою в мінімальності ознак якості пилку [55].

Більш сприятливі погодні умови середовища вирощування форзиції звисаючої в 2021 р. позитивно позначились і на параметрах сформованих пилкових зерен (табл. 4, рис. 11). Особливо чутливим виявилось чоловіче гаплоїдне покоління рослин цього виду на ділянках з більш активним впливом основних забруднюючих домішок в приземному шарі повітря. Розмір негідратованих пилкових зерен за довжиною полярної осі (P) на таких територіях (ПСЗ №7 і 20, наприклад) збільшився на 20-24% у фазу квітання рослин та 19% у зрілому бутоні (ділянки № 5 і 11, відповідно). На території озеленення автостанції «Дарниця» (ділянка 13) та на ділянках з активним автомобільним рухом (навіть в період карантинних обмежень) (як, наприклад, проспект Визволителів (діл. 14), в фазу квітання пилкові зерна мали на 26-30% більшу довжину. У рослин з контрольної території (ділянка 1) та великих за площею паркових насаджень різних районів міста (діл. 3, 9, 12) відмічено збільшення довжини полярної осі на 7-12%. За екваторіальним діаметром (E) в цьому році сформований пилкок був на 11-20% крупнішим у фазу квітання рослин на ділянках 5, 11, 14, більш ніж на 24% на ділянці 13. Дозрілий пилкок в закритому бутоні (до більш активного впливу комплексу аерогенних чинників) в 2021 р. також був крупніший, порівняно з 2020 р.

Загалом, за більш сприятливих умов розвитку генеративних органів у 2021 р. сформувалися більш видовжені пилкові зерна, що відповідає опису сухого пилку представників цього роду [27]. На підтвердження – розрахований індекс форми показав, що дозрілі пилкові зерна в закритому бутоні є більш видовженої форми, а зменшення їх видовженості відбувається з розкриттям квітки, особливо за підвищеного впливу комплексу екзогенних факторів (діл. 5, 8, 10, наприклад). Більший вплив позаоптимальних чинників середовища вирощування рослин в 2020 р. виражений істотною зміною форми зерен в популяціях пилку на більшості досліджених ділянок міста. Згідно існуючої класифікації, цього року пилкові зерна як у дозрілому бутоні (ділянки 4, 8, 11-15), так і у відкритій квітці (ділянки 3, 5, 8, 10, 11, 13) мали не властиву для цього виду майже продовгувату форму (*subprolate*), а за більш сприятливих умов вони набувають

типової продовгуватої (*prolate*) форми [56]. Найбільша зміна форми пилкових зерен (зі зменшенням ІФ впродовж обох років дослідження) відмічена у рослин на ділянках з посиленням антропогенним впливом як, наприклад, ділянка 11.

Тобто, комплекс факторів (зокрема, погодні умови і рівень вмісту поллютантів в атмосфері), які впливають на стан та якість повітря столиці позначаються на якісних та морфометричних показниках чоловічого гаплоїдного покоління (пилкові зерна) *F. suspense*.

Раніше встановлено, що пилкок рослин має високу стійкість до змін мікроелементного складу ґрунтів і підтримує генетично детерміноване співвідношення елементів, яке може порушуватись лише за істотних змін мікроелементного балансу ґрунту, але при цьому він не захищений від впливу поллютантів та інших факторів повітряного середовища [23]. Крім того відзначалось, що формування запасу поживних речовин в пилку на 49,6% залежать від місця вирощування рослин, на 14,2% – від кліматичних умов і взаємодія чинників на 18,8% позначається на його якості [55]. Узгоджена реакція організму на погіршення стану оточуючого середовища має і фенотипічні прояви, зокрема відмічено, що дегенерований (дрібний) та гіпертрофований (великий) пилкок також свідчить про вплив позаоптимальних чинників довкілля на гаметогенез [57]. Обидві форми відхилені від норми переважно стосуються абортивного пилку, паліноморфологічна оцінка якого показала, що через нерозходження тетрад мікроспор при мікроспорогенезі відбувається формування гіпертрофованих пилкових зерен. Утворення дегенерованого пилку відбувається на ранніх стадіях мікроспорогенезу в результаті елімінації мікроспор і гамет, які несуть різні пошкодження [25]. Відомо, що аномальні порушення форми пилку можуть бути й свідченням генетичних змін, пов'язаних з генотоксичною дією аерополлютантів на процеси мікроспорогенезу [57].

Нами виявлено значно менші об'єми продукування аномального пилку за більш сприятливих кліматичних умов 2021 р. на всіх досліджених територіях вирощування *F. suspense*. Якщо в 2020 р. в дозрілому бутоні частка дегенерованих пилкових зерен (за довжиною та шириною) досягала 30-35% (ділянки 4, 5, 9, наприклад), а в фазу масового квітання рослин ще більше (ділянка 15), то в 2021 р. в популяції пилку було до 20% дрібних зерен лише на кількох ділянках (табл. 5).

Таблиця 4.

Параметри пилоквих зерен *F. suspensa* в 2020 – 2021 рр.

Table 4.

Parameters of pollen grains of *F. suspensa* in 2020 – 2021

№ ділянки	Фаза цвітіння рослин				Фаза бутонізації рослин (завершення)			
	2020 р.		2021 р.		2020 р.		2021 р.	
	Середні розміри (мкм) $\frac{P}{E}$	ІФ	Середні розміри (мкм) $\frac{P}{E}$	ІФ	Середні розміри (мкм) $\frac{P}{E}$	ІФ	Середні розміри (мкм) $\frac{P}{E}$	ІФ
1	$\frac{28,9 \pm 6,9}{19,5 \pm 4,8}$	1,48	$\frac{33,0 \pm 2,4}{23,6 \pm 3,0}$	1,40	$\frac{25,3 \pm 4,2}{18,8 \pm 3,3}$	1,35	$\frac{34,4 \pm 3,4}{23,1 \pm 2,8}$	1,49
2	$\frac{28,4 \pm 5,7}{19,1 \pm 3,8}$	1,49	-	-	$\frac{29,5 \pm 5,1}{19,9 \pm 3,6}$	1,48	-	-
3	$\frac{29,5 \pm 2,8}{22,2 \pm 2,2}$	1,33	$\frac{30,7 \pm 2,4}{20,5 \pm 2,1}$	1,43	$\frac{32,05 \pm 3,1}{21,7 \pm 2,1}$	1,48	$\frac{34,1 \pm 2,2}{22,6 \pm 1,2}$	1,51
4	$\frac{25,6 \pm 6,4}{18,8 \pm 4,7}$	1,36	$\frac{33,6 \pm 3,5}{22,6 \pm 3,3}$	1,50	$\frac{29,4 \pm 6,1}{23,7 \pm 6,0}$	1,24	$\frac{32,0 \pm 2,9}{19,8 \pm 2,1}$	1,62
5	$\frac{26,8 \pm 4,6}{20,1 \pm 5,1}$	1,33	$\frac{31,9 \pm 4,7}{22,3 \pm 1,6}$	1,49	$\frac{27,8 \pm 5,6}{19,9 \pm 4,5}$	1,40	$\frac{34,3 \pm 4,7}{22,1 \pm 30,0}$	1,55
6	$\frac{31,0 \pm 4,2}{22,2 \pm 3,8}$	1,40	$\frac{26,8 \pm 3,2}{18,9 \pm 2,4}$	1,42	$\frac{30,0 \pm 6,7}{21,7 \pm 6,2}$	1,38	$\frac{29,8 \pm 4,4}{19,5 \pm 2,8}$	1,53
7	$\frac{27,1 \pm 3,8}{19,2 \pm 3,4}$	1,41	$\frac{31,7 \pm 3,4}{20,3 \pm 2,3}$	1,56	$\frac{29,6 \pm 5,3}{21,2 \pm 3,9}$	1,40	$\frac{27,6 \pm 2,9}{18,0 \pm 2,2}$	1,53
8	$\frac{23,3 \pm 4,3}{17,6 \pm 3,2}$	1,32	$\frac{29,8 \pm 2,7}{19,2 \pm 2,1}$	1,55	$\frac{22,4 \pm 3,4}{16,8 \pm 2,7}$	1,33	$\frac{26,5 \pm 3,2}{18,8 \pm 3,1}$	1,41
9	$\frac{23,7 \pm 4,05}{15,7 \pm 3,3}$	1,51	$\frac{26,5 \pm 2,8}{17,1 \pm 2,8}$	1,55	$\frac{26,02 \pm 4,5}{17,6 \pm 3,9}$	1,48	$\frac{28,1 \pm 3,6}{17,3 \pm 2,9}$	1,62
10	$\frac{23,6 \pm 4,6}{17,7 \pm 3,4}$	1,33	$\frac{30,7 \pm 2,8}{20,3 \pm 2,6}$	1,51	$\frac{26,05 \pm 3,9}{19,1 \pm 3,4}$	1,36	$\frac{33,1 \pm 2,7}{20,8 \pm 2,2}$	1,59
11	$\frac{23,2 \pm 3,4}{17,8 \pm 3,4}$	1,30	$\frac{30,5 \pm 2,4}{22,4 \pm 1,7}$	1,36	$\frac{24,2 \pm 4,1}{18,6 \pm 3,9}$	1,30	$\frac{29,7 \pm 2,2}{21,9 \pm 1,8}$	1,36
12	$\frac{27,6 \pm 6,7}{20,0 \pm 3,8}$	1,38	$\frac{31,4 \pm 2,7}{20,5 \pm 1,9}$	1,53	$\frac{26,2 \pm 4,3}{19,9 \pm 3,7}$	1,32	$\frac{31,5 \pm 3,4}{19,4 \pm 2,6}$	1,62
13	$\frac{21,5 \pm 3,6}{16,4 \pm 3,0}$	1,31	$\frac{30,8 \pm 2,5}{21,6 \pm 2,3}$	1,43	$\frac{24,8 \pm 3,7}{18,9 \pm 3,1}$	1,31	$\frac{32,9 \pm 3,1}{20,6 \pm 2,3}$	1,60
14	$\frac{23,05 \pm 3,9}{16,9 \pm 2,7}$	1,36	$\frac{31,0 \pm 3,7}{20,4 \pm 3,3}$	1,52	$\frac{24,5 \pm 4,0}{19,3 \pm 3,3}$	1,27	$\frac{31,1 \pm 3,5}{20,6 \pm 3,2}$	1,51
15	$\frac{30,1 \pm 6,3}{22,3 \pm 5,8}$	1,35	$\frac{28,7 \pm 2,1}{19,8 \pm 1,5}$	1,45	$\frac{30,7 \pm 6,0}{23,2 \pm 4,7}$	1,32	$\frac{31,4 \pm 3,2}{20,0 \pm 2,1}$	1,57

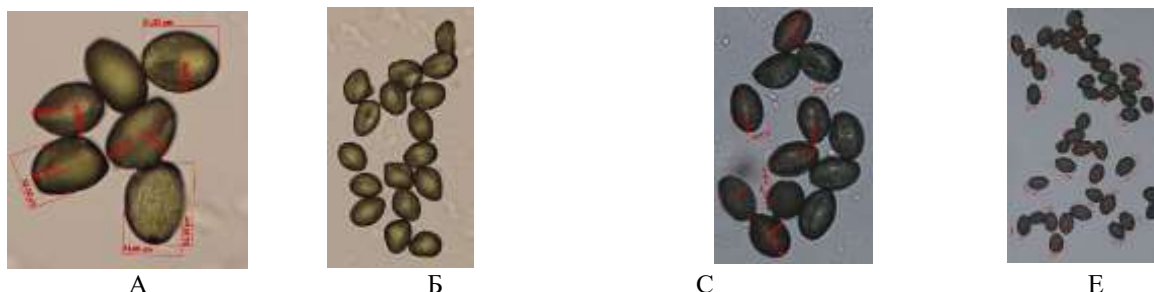


Рис. 11 – Загальний вигляд та параметри пилоквих зерен форзиції звисаючої у фазу цвітіння рослин на ділянці №3 (фото А, Б) у 2020 р. і в 2021 р. (фото С, Е)

Fig. 11 – General appearance and parameters of pollen grains of forsythia hanging in the flowering phase of plants in the area №3 (photo A, B) in 2020 and in 2021 (photo C, E)

Таблиця 5.
Частка (%) аномальних зерен за довжиною полярної осі (P) та екваторіальним діаметром (E) в популяції пилку *F. suspensa*, 2021-2020 рр.

Table 5.
Proportion (%) of anomalous grains along the length of the polar axis (P) and equatorial diameter (E) in the pollen population *F. suspense* in 2021-2020

№ ділянки	Фаза квітучання рослин								Фаза бутонізації рослин							
	2020 р.				2021 р.				2020 р.				2021 р.			
	P		E		P		E		P		E		P		E	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
1	35,6	36,6	30,6	24,6	0,33	1,6	13,3	8,0	13,3	12,0	15,3	12,3	9,6	5,3	12,6	5,6
3	8,06	1,9	4,5	3,9	3,6	-	2,6	0,33	7,2	2,9	3,4	5,9	3,0	-	0,66	0,66
4	32,5	24,3	33,1	22,0	3,6	2,0	9,3	3,3	23,3	24,7	34,3	29,9	6,4	2,7	8,2	7,7
5	20,9	23,8	33,3	34,9	11,6	7,3	18,0	14,0	24,2	21,6	27,7	26,0	20,4	15,8	18,8	9,1
6	14,0	8,3	20,0	15,0	1,3	12,0	3,0	-	26,2	24,6	35,7	32,5	22,0	22,3	18,6	20,0
7	16,2	8,0	23,6	20,06	9,0	8,6	9,6	11,0	19,7	20,2	21,0	17,1	8,0	11,0	11,3	17,3
8	18,8	22,2	21,6	17,8	8,6	2,0	10,6	6,3	14,2	16,3	17,0	17,0	5,7	11,5	19,2	21,2
9	25,3	22,9	23,3	19,06	0,33	10,0	19,6	21,6	15,3	18,1	29,6	27,6	13,0	14,0	19,3	22,3
10	20,6	19,1	22,0	21,05	4,3	2,6	14,6	11,3	11,1	18,9	19,6	25,5	6,2	2,0	10,0	7,6
11	16,1	17,8	22,1	23,8	3,3	2,0	3,6	-	19,5	20,8	22,8	20,1	0,33	1,6	7,6	-
12	30,7	25,0	21,2	30,7	6,3	1,6	7,6	4,3	15,5	10,3	24,1	21,5	13,0	6,1	15,2	13,4
13	21,1	21,1	21,1	19,4	4,0	1,3	11,6	7,0	11,6	13,2	17,4	17,4	8,6	3,3	12,0	5,3
14	18,7	16,6	20,0	17,4	4,2	17,4	20,3	26,9	14,7	14,0	20,0	22,6	7,3	5,5	14,5	16,4
15	28,8	33,3	37,9	36,9	17,6	1,3	4,3	-	25,6	24,8	18,4	22,4	11,3	4,0	11,6	0,66

Примітка: P- довжина полярної осі; E - екваторіальний діаметр
Note: P is the length of the polar axis; E is the equatorial diameter

Дещо менше (до 25%) в популяції дослідженого пилку в фазу квітучання рослин в 2020 р. виявлено гіпертрофованих зерен, а в наступному році їх було ще менше. При цьому слід відмітити, що відхилення від норми частіше позначались на розмірах полярної осі пилку. Так, вже у 2021 р. в фазу бутонізації рослин в популяції сформованого пилку було в 2-3 рази менше дрібних зерен, а під час квітучання – у 5-10 разів. Частка гіпертрофованих зерен за цим параметром цього року також зменшилась як у закритому бутоні (у 9-13 разів – на ділянках № 2, 6, 8, та 9), так і в період квітучання рослин (у 7-25 разів, на вказаних ділянках відповідно). При цьому, на ділянках з менш активним впливом основних забруднюючих домішок в приземному шарі повітря (ПСЗ №5 – ділянка №1 наприклад) за більш сприятливих погодних умов 2021р. продукування пилку з різними порушеннями було мінімальним. За розміром екваторіального діаметру мінливість здебільшого виражалась за обсягами гіпертрофованих зерен.

Водночас, чітко простежується продукування значної частки аномального пилку у

рослин, що зростають на вулицях з інтенсивним рухом автотранспорту (ділянки 5-7, 9, 14, наприклад). За меншого впливу позаоптимальних чинників довкілля на репродуктивні органи форзиції звисаючої в 2021 р. частка аномальних зерен в популяції пилку і на завершення фази бутонізації, і під час масового квітучання рослин на окремих ділянках міста з розвинутою мережею автомобільних шляхів (Одеська площа – ділянка 4, Маріїнський парк – ділянка 11, автостанція «Дарниця» – ділянка 13, наприклад) відповідала рівню спонтанно індукованих значень.

На підтвердження зроблених іншими дослідниками [25] висновків, це можна також пояснити особливостями інженерно-архітектурного планування території – або значні відкриті простори території та віддаленість будівель (як на ділянці 4) або одностороння забудова і деревні насадження з виходом на набережну (ділянка 11) забезпечують хорошу аерацію, зменшуючи гаметоцидну дію полютантів. Це додатково підтвердило високий вплив взаємодії факторів «точка збору +умови року» [55] на формування пилку цього виду, особливо відмічена його

висока чутливість до токсичної дії викидів автотранспорту в приземному шарі атмосферного повітря.

Отже, дослідження стану спадкового апарату форзиції звисаючої в паркових екосистемах різних районів м. Києва підтвердило її високу чутливість до комплексу екзогенних чинників середовища вирощування та доцільність використання рослин цього виду для оцінки стану об'єктів довкілля за токсико-мутагенним фоном [28]. Підтверджено, що стан чоловічого гаплоїдного покоління нелінійно залежить від величини комплексного індексу забруднення

атмосфери (КІЗА) тому успішно доповнює систему моніторингу атмосферного повітря в дослідженому регіоні і в доповненні з основними показниками здоров'я віддзеркалює вплив забруднення атмосфери на довкілля [19]. Оскільки вже встановлено, що більшість забруднювачів (53,3 %) проникає в організм інгаляційним шляхом через органи дихання, оскільки за добу в легені потрапляє більш 10 тис. дм^3 (л) повітря, а в шлунок – 1,5 дм^3 рідини, тому організм людини більш чутливий до токсичних речовин, які надходять у нього через легені, тобто з повітрям, що вдихується [19, 58].

Висновки

Результати започаткованого моніторингу якості атмосферного повітря в умовах Київської агломерації з використанням *F. suspensa* підтвердили чутливість пилку цього виду до впливу позаоптимальних чинників довкілля. Відмічена вища стійкість життєвих показників пилку цього виду до несприятливих погодних умов при вирощуванні рослин на ділянках з менши активним впливом забруднюючих речовин в приземному шарі повітря. Підтверджено, що взаємодія факторів «точка збору+умови року» є статистично значимою в мінливості ознак якості пилку, а також позначається на розмірах пилкових зерен (за індексом форми). Встановлено, що зміна форми пилкових зерен частіше відбувається через мінливість показника «довжина полярної осі». Також простежується істотне зменшення частки аномальних зерен в популяціях пилку *F. suspensa* за меншого впливу позаопти-

мальних чинників середовища вирощування рослин. Підтверджена перспективність використання пилку *F. suspensa* для визначення потенційної мутагенності повітряного басейну в умовах агломерації Києва.

Доповнення результатів біоіндикаційних досліджень з використанням, зокрема, пилку *F. suspensa*, відомостями про стан здоров'я населення та даними щодо забруднення атмосферного повітря підвищує ефективність індикації стану навколишнього середовища Києва. Відмічено, що запровадження в Києві обмежувальних протиепідемічних заходів у 2020 і 2021 рр. зумовило певне покращення екологічної ситуації (за наведеними даними ЦГО), зокрема, виявлене зменшення рівня інтегрального забруднення повітря на більшості досліджених ділянок столиці, особливо за відсутності впливу розвинутої мережі автомобільних шляхів.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису. Автори дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Список використаної літератури

1. Горова А. І., Бучавий Ю. В., Колесник В. Є. Оцінка інтегральної небезпеки впливу забруднення атмосферного повітря викидами промислових підприємств міста на здоров'я населення. *Гігієна населених місць*. 2017. Вип. 67. С. 15–21. URL: <https://doi.org/10.32402/hygiene2017.67.015>
2. Дзюба О. Ф., Борейша І. К., Яковлева Т. Л., Шейнерман Н. А., Надпорожня М. А. Качество пыльцы высших растений и некоторых клеточных структур животных организмов в условиях промышленной площадки ЛАЭС и города Сосновый Бор. *Пыльца как индикатор состояния окружающей среды и палеоэкологические реконструкции*. СПб.: ВНИГРИ. 2001. С. 69–78.
3. Brunekreef B., Holgate S. T. Air pollution and health. *The Lancet*. 2002. Vol. 360, No. 9341. P. 1233–1242. DOI: <https://doi.org/10.17223/25421379/13/22>
4. Nenasheva G. I., Maksimova N. B., Morkovkin G. G., Ivanova M. S. Research of the *Pinus sylvestris* pollen as a method of assessing the degree of air pollution. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2017. 7(4). P. 174–178. DOI: https://doi.org/10.15421/2017_102

5. Sénéchal H., Visez N., Charpin D., Shahali Y., Peltre G., Biolley J.-P., Lhuissier F., Couderc R., Yamada O., Malrat-Domenge A., Pham-Thi N., Poncet P., Sutra J.-P. A Review of the Effects of Major Atmospheric Pollutants on Pollen Grains, Pollen Content, and Allergenicity. *The Scientific World Journal*. Vol. 2015. 29 p. Article ID 940243, URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/940243>
6. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року: Закон України від 28.02.2019 р. № 2697-VIII. *Відомості Верховної Ради України*. 2019. № 16, Ст.70.
7. Національний план дій з охорони навколишнього природного середовища на період до 2025 року: розпорядження Каб. Міністрів України від 21.04.2021 р. № 443 р. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/kr210443?an=24> (дата звернення: 05.06.2021).
8. Атмосферне повітря. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2018 році. Київ: Мін. захисту довкілля та природних ресурсів України. 2018. С. 20–38.
9. Статистичний щорічник України за 2007 рік. Державний комітет статистики України. за ред. О. Г. Осауленка. Київ: 2008. 582 с.
10. Статистичний щорічник України за 2018 рік. Державний комітет статистики України / за ред. І. Є. Вернера. Київ: 2019. 482 с.
11. Качество атмосферного воздуха и здоровье. *Информационный бюллетень ВОЗ*. 2 мая 2018 г. URL: [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (дата звернення 14.07.2021).
12. Гуцул І. В. Досвід моніторингу стану забруднення атмосферного повітря у Рівненській області у 2007–2017 роках. *Environment & Health*. 2019. №4. С. 57–60. URL: <https://doi.org/10.32402/dovkil2019.04.057>
13. Савенець М. В., Дворецька І. В., Надточій Л. М. Сучасний стан забруднення атмосферного повітря в Україні за даними супутника Sentinel-5P. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна*. Серія «Геологія. Географія. Екологія». 2019. Вип. 51. С. 221–233. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKhG_2019_51_18.
14. Савенець М. В., Осадчий В. І., Орещенко А. В. Моніторинг якості атмосферного повітря над територією України з деталізацією для міст за даними супутника Sentinel-5P. *Вісник НАН України*. 2021. №3. С. 50–58. URL: <https://doi.org/10.15407/visn2021.03.050>
15. Горова А. І., Бучавий Ю. В., Колесник В. Є. Удосконалення системи інформування про ризики для здоров'я населення через забруднення атмосферного повітря. *Медична інформатика та інженерія*. 2016. №2. С. 21–25. URL: <https://doi.org/10.11603/mie.1996-1960.2016.2.6478>
16. Жуков М. Н., Стахів І. Р., Клипа А. В. Моделювання розподілів вмісту забруднювальних речовин в атмосфері мегаполісів (на прикладі м. Києва). *Геоінформатика*. 2013. №2 (46). С. 61–68. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/geoinf_2013_2_10
17. Варламов Е. Н., Палагута О. А. Система экологических индикаторных показателей для оценки состояния окружающей природной среды в Украине. *Научные ведомости БелГУ*. Серия естественные науки. 2013. №7 (160). Вып. 24. С.188–192. URL: <http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/26296>
18. Герещун Г. М., Масікевич Ю. Г., Гольонко Р. А. Аналіз забруднення атмосферних опадів домішками на вулицях міста. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. Т. 29. №1. С. 66–69. URL: <https://doi.org/10.15421/40290114>
19. Бучавий Ю. В. Прогнозування ризиків для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря викидами підприємств Дніпропетровської області: автореф. дис. ... канд. біол. наук: 14.03.11 / Нац. мед. акад. післядипломної освіти ім. П. Л. Шупика. Київ, 2017. 24 с.
20. Методичні рекомендації «Обстеження та районування території за ступенем впливу антропогенних чинників на стан об'єктів довкілля з використанням цитогенетичних методів». Упоряд.: А. І. Горова, С. А. Риженко, Т. В. Скворцова, І. І. Клімкіна, А. В. Павличенко, І. Г. Миронова. Дніпропетровськ: 2007. 25 с.
21. Бучавий Ю. В., Горова А. І. Удосконалення системи прогнозування ризиків здоров'я населення від техногенних джерел забруднення атмосфери. *Здоровий спосіб життя: проблеми та досвід*: матеріали III міжнар. наук.-практ. конф. (Дніпропетровськ, 5-7 лист. 2013 р.). Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2013. С. 300–303.
22. Дзюба О. Ф. Палиноиндикация качества окружающей среды. СПб.: Недра. 2006. 198 с. URL: <http://www.ngtp.ru/rub/7/12.pdf>
23. Коркина В. И. Пыльцевая обножка медоносных пчел как индикатор в апимониторинге загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, 2009. 24 с.
24. Муліна А. В., Павличенко А. В. Дослідження стану зелених насаджень м. Дніпро в зоні впливу автомобільного транспорту. *Збірник наукових праць НГУ*. Дніпро: Національний ТУ «Дніпровська політехніка». 2020. №60. С.177–185. URL: <https://doi.org/10.33271/crpnmu/60.177>
25. Морозова Т. В., Хрутьба В. О., Кобзиста О. П. Скринінг палиноморфологічного та палинотоксичного ефекту автотранспортних емісій. *Вісник Національного транспортного університету*. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. Київ: НТУ. 2019. Вип. 1 (43). С. 116–126. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vntu_2019_1_14
26. Матяшук Р. К., Ткаченко І. В. Дослідження стану генеративних органів бузини чорної в різних умовах зростання. *PLANTA+. НАУКА, ПРАКТИКА ТА ОСВІТА*: матеріали Міжнародної наук.-практ. конф. (м.

- Київ, 19 лют. 2021). Електрон. дані. Київ: Паливода А. В., 2021 а. С. 401–405. URL: <https://plantaplus.com.ua/>
27. Матяшук Р. К., Ткаченко І. В. Чутливість пилку форзиції до факторів оточуючого середовища мегаполісу. *Природничий альманах* (біологічні науки). Збірник наукових праць. Херсон: ФОП Вишемирський В. С. 2021 б, Вип. 30. С.56–74. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pasbn_2021_30_9
 28. Наказ МОЗ України № 116 від 13.03.2007 р. “Про затвердження методичних рекомендацій «Обстеження та районування території за ступенем впливу антропогенних чинників на стан об’єктів довкілля з використанням цитогенетичних методів»”. *Офіційний вісник України*. 2007. №4. С. 186–209. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0116282-07#Text>
 29. Атмосферне повітря. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2017 році. Київ: Мін. захисту довкілля та природних ресурсів України. 2017. С. 34–64.
 30. Статистичний щорічник України за 2019 рік / Державний комітет статистики України / за ред. І. Є. Вернера. Київ: 2020. 465 с.
 31. Яценко Ю., Шевченко О., Сніжко С. Оцінка сучасного рівня та тенденцій забруднення атмосферного повітря міст України діоксидом азоту. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. Геологія. 2018. 3(82). С. 87–95. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKNU_geol_2018_3_13
 32. Жуков М. Н., Вижва С. А. Критичний стан повітряного середовища Києва, прогнозні оцінки впливу на 2012 рік. *Геоінформатика*. 2008. №4. С. 69–78. URL: <http://dSPACE.nbuv.gov.ua/handle/123456789/12379>
 33. Паушева З. П. (1988). Практикум по цитологии растений. 4-е изд. Москва: Агропромиздат. 1988. 271 с.
 34. Гнатюк А. М., Гурненко І. В. Морфологічні особливості пилкових зерен видів родини Colchicaceae DC. Флори України. *Інтродукція рослин*. 2013. № 2. С. 57–62. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/IR_2013_2_11
 35. PalDat - Palynological Database an online publication on recent pollen. URL: <https://www.paldat.org/search/genus/Forsythia> (дата звернення 14.07.2021).
 36. Гірій В. А., Колісник І. А., Косовець О. О., Кузнецова Т. О. (2020). Стан забруднення навколишнього природного середовища на території України у 2019 р. *Праці Центральної геофізичної обсерваторії ім. Б. Срезневського* / ред. О.О. Косовець. Київ: СПД ФОП Кравченко, 2020. Вип. 16 (30). С. 28–44. URL: <http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/index.php?fn=p&f=files>
 37. Гірій В. А., Колісник І. А., Косовець О. О., Кузнецова Т.О. (2019). Стан забруднення навколишнього природного середовища на території України у 2018 р. *Праці Центральної геофізичної обсерваторії ім. Б. Срезневського* / ред. О.О. Косовець. Київ: СПД ФОП Кравченко. 2019. Вип. 15 (29). С. 11–25. URL: <http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/index.php?fn=p&f=files>
 38. Новини ЦГО. 2020 [Верес.9]. URL: <http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/index.php?fn=news&f=news-cgo&ko=0>
 39. Огляд стану забруднення навколишнього природного середовища на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій у 2018 р. URL: http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine
 40. Огляд стану забруднення навколишнього природного середовища на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій у 2019 р. URL: http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine
 41. Щорічник стану забруднення атмосферного повітря на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій за 2018 рік. ЦГО ім. Б. Срезневського. Київ. 2019. 263 с.
 42. Щорічник стану забруднення атмосферного повітря на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій за 2019 рік. ЦГО ім. Б. Срезневського. Київ. 2020. 271 с.
 43. Щорічник стану забруднення атмосферного повітря на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій за 2020 рік. ЦГО ім. Бориса Срезневського, Київ. 2021. 270 с.
 44. Статистичний збірник «Регіони України» 2019 р. / за ред. І. Вернера. Київ: 2020. Ч.1. 309 с.
 45. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. Москва: Агропромиздат. 1985. 351 с.
 46. Matusiak M. V. Features of growth and development of the genus *Forsythia* Vahl. in conditions of the Vinnytsia National Agrarian University biostationary. *Сільське господарство та лісівництво*. 2020. № 16. С. 162–175. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/agf_2020_16_14.
 47. Гончаренко Б. В. Перспективи використання видів та культиварів роду Форзиція (*Forsythia* Vahl.) у зеленому будівництві в Правобережному Лісостепу України. *Інтродукція рослин*. 2009. № 1. С. 68–72. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/IR_2009_1_12
 48. Мирончук К. В. Фенологічні аспекти розвитку живоплотів у еколого-фітоценотичних поясах Буковини. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. Вип. 23(3). С. 140–145. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnlntu_2013_23.3_26
 49. Косовець О. О., Доніч О. А. Кліматичні особливості 2018 р. *Праці Центральної геофізичної обсерваторії ім. Б. Срезневського* / ред. О. О. Косовець. Київ: СПД ФОП Кравченко. 2019. Вип. 15 (29). С. 4–10.
 50. Косовець О. О., Доніч О. А. Кліматичні особливості 2019 р. *Праці Центральної геофізичної обсерваторії ім. Б. Срезневського* / ред. О. О. Косовець. Київ: СПД ФОП Кравченко. 2020. Вип. 16 (30). С. 19–25.

51. Огляд стану забруднення навколишнього природного середовища на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій у 2020 р. URL: http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine.
52. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в м. Києві у 2015 році. Київ. 2016. 90 с. URL: <https://ecodep.kyivcity.gov.ua/content/ekologichnyy-pasport.html>
53. Вишневський В. І., Колісник І. А. Просторово-часові особливості забруднення атмосферного повітря в м. Києві. *Праці Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського* / ред. А. В. Куцого. Київ: ТОВ «Друкарня «Бізнесполіграф», 2021. Вип. 17 (31). С. 27–39.
54. *Екологічний паспорт міста Києва за 2019 рік*. URL: <https://ecodep.kyivcity.gov.ua/content/ekologichnyy-pasport.html> (дата звернення 14.07.2021).
55. Ерещенко О. В., Хлебцова Л. П. Влияние погодных условий на изменчивость признаков пыльцы березы повислой (*Betula pendula* Roth.). *Известия Алт. гос. ун-та*. 2012. №3/2 (75). С. 17–20. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-pogodnyh-usloviy-na-izmenchivost-priznakov-pyltsy-berezy-povisloy-betula-pendula-roth>
56. Erdtman G. Pollen Morphology and Plant Taxonomy—Angiosperms. Almqvist and Wiksell, Stockholm, 1952. 539 p.
57. Ибрагимова Э. Э. Палиноморфологическая и палинотоксическая оценка аэротехногенного загрязнения в урбоэкосистемах. Самарский научный вестник. 2015. №2 (11). С. 83–86. DOI: <https://doi.org/10.17816/snv20152124>
58. Савилов Е. Д., Анганова Е. В., Ильина С. В., Степаненко Л. А. Техногенное загрязнение окружающей среды и здоровье населения: анализ ситуации и прогноз. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(6). С. 507-512. DOI: <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-6-507-512>

Стаття надійшла до редакції 12.09.2021

Стаття рекомендована до друку 22.10.2021

R. K. MATIASHUK¹, Ph. D. (Biology), Senior Researcher,
Head of the Department of Dendrology and Park Studies

I. V. TKACHENKO¹

Leading Engineer of the Department of Dendrology and Park Science

¹*Institute for Evolutionary Ecology of the National Academy of Science of Ukraine,*
37, Acad. Lebedyova, Str., Kyiv, 03143, Ukraine

THE POLLEN OF PLANTS OF THE SHRUB LAYER IN THE URBAN GREEN SPACE AS AN INDICATOR OF THE STATE OF ATMOSPHERIC AIR OF THE CITY (ON THE EXAMPLE OF REPRESENTATIVES OF THE GENUS *Forsythia*)

It is especially important to assess the potential mutagenicity of the air environment in the area of active life and human respiration. In our opinion, perennial shrub plants are the most informative objects of such research.

Purpose. Study of the sensitivity of the male haploid generation *Forsythia suspensa* Vahl. to the state of atmospheric air of Kyiv in the surface layer; the prospects of using this species to indicate the quality of atmospheric air and assess possible risks to public health.

Methods. Fields, statistical. The state of the generative sphere of *F. suspensa* was determined by fertility and morphometric parameters of pollen, determination of the index of shape and proportion of abnormal grains in the population of non-hydrated pollen.

Results. It is established that the pollen of *F. suspensa* is sensitive to a complex of exogenous factors of the growing environment in the park ecosystems of Kyiv. The statistical significance of the complex influence of plant growing factors and weather conditions on the variability of *F. suspensa* pollen quality traits and its sizes has been confirmed. There is a greater influence of air pollutants in the surface layer of atmospheric air on the size of the equatorial diameter of the pollen grains of this plant species. Introduction of restrictive anti-epidemic measures in 2020 and 2021 has reduced the level of integrated air pollution in most of the studied areas of the capital. These changes in the conditions of the growing environment, especially in the absence of the influence of the developed network of highways, affected the share of abnormal grains in pollen populations in the studied areas.

Conclusions. The expediency of further use of plants of *F. suspensa* to assess the state of the environment on a toxic-mutagenic background and zoning of park ecosystems on a gradient of anthropogenic impact is noted. Complementing the results of bioindication studies using, in particular, *F. suspensa* pollen, information on the state of health of the population and data on air pollution increases the effectiveness of indicating the state of the environment in Kyiv

KEY WORDS: fertility, coefficient of sterility of pollen, abnormal pollen, aerotechnogenous contamination, palinotoxicity, bioindication

References

1. Horova, A., Buchavyi, Yu., & Kolesnyk V. (2017). Evaluation of integral danger of the influence of atmospheric air pollution of the emissions of the city industrial enterprises on population health. *Hygiene of populated places*, (67), 15–21. <https://doi.org/10.32402/hygiene2017.67.015> (In Ukrainian).

2. Dzyuba, O. F., Boreysha, I. K., Yakovleva, T. L., Shejnerman, N. A., & Nadporozhnaja, M. A. (2001). The quality of the pollen of higher plants and some cellular structures of living organisms in industrial area of the city of Leningrad and Sosnoviy Bor town NPP. Saint Petersburg: VNIGRI. 69–78. (In Russian).
3. Brunekreef, B., & Holgate, S. T. (2002). Air pollution and health. *The Lancet*, 360(9341), 1233–1242. <https://doi.org/10.17223/25421379/13/2>
4. Nenasheva, G. I., Maksimova, N. B., Morkovkin, G. G., & Ivanova M. S. (2017). Research of the *Pinus sylvestris* pollen as a method of assessing the degree of air pollution. *Ukrainian Journal of Ecology*, 7(4), 174–178.
5. Sénéchal, H., Visez, N., Charpin, D., Shahali, Y., Peltre, G., Biolley, J.-P., Lhuissier, F., Couderc, R., Yamada, O., Malrat-Domenge, A., Pham-Thi, N., Poncet, P., & Sutra, J.-P. (2015). A Review of the Effects of Major Atmospheric Pollutants on Pollen Grains, Pollen Content, and Allergenicity. *The Scientific World Journal*, 2015, ID 940243, <http://dx.doi.org/10.1155/2015/940243>
6. On the Basic Principles (Strategy) of the State Environmental Policy of Ukraine for the period up to 2030: Law of Ukraine of February 28, 2019. № 2697-VIII. *Information of the Verkhovna Rada of Ukraine*, (16), 70. (In Ukrainian).
7. National Action Plan for Environmental Protection until 2025: Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated April 21. (2021). (443). Retrieved from <https://ips.ligazakon.net/document/kr210443?an=24> (In Ukrainian).
8. Atmospheric air. (2018). National report on the state of the environment in Ukraine in 2018. Kyiv: Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine, 20–38. (In Ukrainian).
9. Osaulenko, O. H. (Ed.). (2008). Statistical Yearbook of Ukraine for 2007. State Statistics Committee of Ukraine. Kyiv. (In Ukrainian).
10. Verner, I. Ye. (Ed.). (2019). Statistical Yearbook of Ukraine for 2018. State Statistics Committee of Ukraine. Kyiv. (In Ukrainian).
11. Ambient air quality and health. (2018). Fact sheet WHO. Retrieved (2021.07.14) from [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (In Russian).
12. Hushchuk, I. V. (2019). Experience in monitoring the state of atmospheric air pollution in Rivne region for the period 2007-2017. *Environment & Health*, (4), 57–60. (In Ukrainian).
13. Savenets, M., Dvoretzka, I., & Nadochii, L. (2019). Current state of atmospheric air pollution in Ukraine based on Sentinel-5p satellite data. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology"*, (51), 221-233. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-16> (In Ukrainian).
14. Savenets, M., Osadchyi, V., & Oreshchenko, A. (2021). Atmospheric air quality monitoring over the territory of Ukraine with specification over the cities using Sentinel-5p satellite data. *Visn. Nac. Acad. Nauk Ukr.*, (3), 50–58. (In Ukrainian).
15. Horova, A. I., Buchavy, Y. V., & Kolesnyk, V. Y. (2016). Improving the information system of healthy population risk caused by atmospheric air pollution. *Medical Informatics and Engineering*, (2), 21–25. (In Ukrainian).
16. Zhukov, M. N., Stakhiv, I. R., & Klypa, A. V. (2013). Modeling of the pollutants content in the megapolis atmosphere (based on Kyiv data). *Heoinformatyka*, (2(46), 61–68. (In Ukrainian).
17. Varlamov, E. N., & Palaguta, O. A. (2013). The system of environmental performance indication for assessing the state of natural environment in Ukraine. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series*, 24(7(160), 188–192. (In Russian).
18. Heretsun, H. M., Masikevich, Yu. H., & Holyonko, R. A. (2019). Analysis of Atmospheric Deposit Pollution by Impurities in City Streets. *Scientific Bulletin of UNFU*, 29(1), 66–69. (In Ukrainian).
19. Buchavy, Yu. V. (2017). The forecasting of health risk from air pollution emissions of the enterprises in Dnipropetrovsk region. Extended abstract of candidates Thesis. Kyiv. (In Ukrainian).
20. Gorova, A. I., Ryzhenko, S. A., Skvortsova, T. V., Klimkina, I. I., Pavlychenko, A. V., Myronova, I. H. (20007). Methodical recommendations "Survey and zoning of the territory according to the degree of influence of anthropogenic factors on the state of environmental objects using cytogenetic methods". Dnipropetrovsk: National Mining University. (In Ukrainian).
21. Buchavy, Yu. V., & Gorova, A. I. (2013). Improving the system of forecasting public health risks from man-made sources of air pollution. Proc. of the III International. scientific-practical conf.: Healthy lifestyle: problems and experience: materials (Dnipropetrovsk, November 5-7, 2013, pp.300-303). Dnepropetrovsk: National Mining University. (In Ukrainian).
22. Dzyuba, O. F. (2006). Pollen-indication of environmental quality. Saint Peterburg: Nedra. <http://www.ngtp.ru/rub/7/12.pdf> (In Russian).
23. Korkina, V. I. (2009). Pollen pollen of honey bees as an indicator in the apimonitoring of environmental pollution with heavy metals. Extended abstract of candidate's thesis. Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk. (In Russian).
24. Mulina, A. V., & Pavlychenko, A. V. (2020). Study of the state of green areas in Dnipro in the area of influence of road transport. *Collection of research papers of the National mining university*, (60), 177-185. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/60.177> (In Ukrainian).
25. Morozova T. V., Khrutba V. O., Kobzysa O. P. (2019). Screening of palynomorphological and palynotoxic effect of motor vehicle emissions. *Bulletin of the National Transport University. «Technical Sciences» series*, 1(43), 116–126. (In Ukrainian).

26. Matiashuk, R. K., & Tkachenko, I. V. (2021). Study of the condition of generative organs of *Sambucus nigra* L. in different growth conditions. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference: *PLANTA+SCIENCE, PRACTICE AND EDUCATION*. (February 19, 2021. Kyiv, pp.401-405.). Kyiv. (In Ukrainian).
27. Matiashuk, R. K., & Tkachenko, I. V. (2021). Sensitivity of Forsythia pollen to the factors of the environment of the megapolis. *Scientific Bulletin of Natural Sciences (Biological Sciences)*, (30), 56–74. (In Ukrainian).
28. On approval of methodological recommendations" Survey and zoning of the territory according to the degree of influence of anthropogenic factors on the state of environmental objects using cytogenetic methods ". (2007). *Official Gazette of Ukraine*, (4), 186–209. (In Ukrainian).
29. Atmospheric air. National report on the state of the environment in Ukraine in 2017. (2017). Kyiv: Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine, 34–64. (In Ukrainian).
30. Verner, I. Ye. (Ed.). (2020). Statistical Yearbook of Ukraine for 2019. State Statistics Committee of Ukraine. Kyiv. (In Ukrainian).
31. Yatsenko, Yu., Shevchenko, O., & Snizhko, S. (2018). Assessment of air pollution level of nitrogen dioxide and trends of it changes in the cities of Ukraine. *Visnyk Kyivskogo Nacionalnogo Universitetu imeni Tarasa Shevchenka. Geologia*, 3(82), 87–95. (In Ukrainian).
32. Zhukov, M. N., & Vyzhva, S. A. (2008). Critical condition of air environment in Kyiv. Prognosis estimations of its influence for 2012. *Geoinformatika*, (4), 69–78. (In Ukrainian).
33. Pausheva, Z. P. (1988). Workshop on plant cytology. 4th ed. Moscow: Agropromizdat. (In Russian).
34. Gnatiuk, A. M., & Gournenko, I. V. (2013). Pollen grains morphology of Colchicaceae DC. species in flora of Ukraine. *Plant introduction*, (2), 57–62. (In Ukrainian).
35. PalDat - Palynological Database an online publication on recent pollen. Retrieved (14.07.2021) from <https://www.paldat.org/search/genus/Forsythia>
36. Giryi, V. A., Kolisnyk, I. A., Kosovets, O. O., & Kuznetsova, T. O. (2020). The state of environmental pollution in Ukraine in 2019. In Kosovo O.O. (Ed.). Proceedings of the Central Geophysical Observatory named after Boris Sreznevsky, 16 (30), 28–44. (In Ukrainian).
37. Giryi, V. A., Kolisnyk, I. A., Kosovets, O. O., & Kuznetsova, T. O. (2019). The state of environmental pollution in Ukraine in 2018. In Kosovo O.O. (Ed.). Proceedings of the Central Geophysical Observatory named after Boris Sreznevsky, 15 (29), 11–25. (In Ukrainian).
38. News of the CGO. (2020). Retrieved from <http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/index.php?fn=news&f=news-cgo&ko=0> (In Ukrainian).
39. Review of the state of environmental pollution on the territory of Ukraine according to the observations of hydrometeorological organizations in 2018. (2019). Retrieved from http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine (In Ukrainian).
40. Review of the state of environmental pollution on the territory of Ukraine according to the observations of hydrometeorological organizations in 2019. (2020). Retrieved from http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine (In Ukrainian).
41. Yearbook of air pollution in Ukraine according to observations of hydrometeorological organizations in 2018. (2019). CGO named after Boris Sreznevsky. Kyiv. (In Ukrainian).
42. Yearbook of air pollution in Ukraine according to observations of hydrometeorological organizations in 2019. (2020). CGO named after Boris Sreznevsky. Kyiv. (In Ukrainian).
43. Yearbook of air pollution in Ukraine according to observations of hydrometeorological organizations in 2020. (2021). CGO named after Boris Sreznevsky. Kyiv. (In Ukrainian).
44. Werner, I. (Ed.). (2020). Statistical collection "Regions of Ukraine" 2019. Part 1. Kyiv. (In Ukrainian).
45. Dospekhov, B.A. (1985). Field experiment methodology (with the basics of statistical processing of research results). 5th ed., Moscow: Agropromizdat. (In Russian).
46. Matusiak, M. V. (2020). Features of growth and development of the genus Forsythia Vahl. in conditions of the Vinnytsia National Agrarian University biostationary. *Agriculture and forestry*, (16), 162–175. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/agf_2020_16_14. (In Ukrainian).
47. Goncharenko, B. V. (2009). The perspectives of the usage of Forsythia genus species and cultivars in landscape design in Right-Bank of Forest-Steppe of Ukraine. *Plant introduction*, (1), 68–72. (In Ukrainian).
48. Myronchuk, K. V. (2013). Phenological aspects of green hedges in ecology and phytocoenotic zones of Bukovina. *The Scientific Bulletin of UNFU*, 23(3), 140–145. (In Ukrainian).
49. Kosovets, O. O., & Donich, O. A. (2019). Climatic features of 2018. In Kosovets, O. O. (Ed.) Proceedings of the Central Geophysical Observatory named after Boris Sreznevsky. 15 (29), 4–10. (In Ukrainian).
50. Kosovets, O. O., & Donich, O. A. (2020). Climatic features of 2019. In Kosovets, O. O. (Ed.) Proceedings of the Central Geophysical Observatory named after Boris Sreznevsky, 16 (30), 19–25. (In Ukrainian).
51. Review of the state of environmental pollution on the territory of Ukraine according to the observations of hydrometeorological organizations in 2020. (2021). Retrieved from http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine. (In Ukrainian).
52. Regional report on the state of the environment in Kyiv in 2015. (2016). Retrieved from <https://ecodep.kyivcity.gov.ua/content/ekologichnyy-pasport.html> (In Ukrainian).

53. Vyshnevsky, V. I., & Kolisnyk, I. A. (2021). Spatio-temporal features of atmospheric air pollution in Kyiv. In Kutsogo A.V. (Ed.). Proceedings of the Central Geophysical Observatory named after Boris Sreznevsky , 17 (31), 27–39. (In Ukrainian).
54. Ecological passport of the city of Kyiv for 2019. Retrieved 2021.14.07. from <https://ecodep.kyivcity.gov.ua/content/ekologichnyy-pasport.html> (In Ukrainian).
55. Ereschenko, O. V., & Khlebova, L. P. (2012). The influence of weather conditions on the variability of *Betula pendula* Roth. pollen parameters. *News of the Altai State university*, (3/2 (75)), 17–20. (In Russian).
56. Erdtman, G. (1952). Pollen Morphology and Plant Taxonomy—Angiosperms. Almqvist and Wiksell, Stockholm.
57. Ibragimova, E. E. (2015). Palinomorphological and palinotoxical assessment of aerotechnogenic pollution in urboecosystem. *Samara Scientific Bulletin*, (2 (11)), 83–86. (In Russian).
58. Saviolov, E. D., Anganova, E. V., Ilina, S. V., & Stepanenko, L. A. (2016). Technogenic environmental pollution and the public health: analysis and prognosis. *Hygiene and Sanitation*, 95(6), 507-512. (In Russian).

The article was received by the editors 12.09.2021

The article is recommended for printing 22.10.2021

Р. К. МАТЯШУК¹, канд. біол. наук, ст. научн. сотрудник,
заведующая отделом дендрологии и парковедения
e-mail: raisakiev2015@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1929-0522>

І. В. ТКАЧЕНКО¹,
ведущий инженер отдела дендрологии и парковедения
e-mail: irina_tkachenko77@ukr.net

¹Государственное учреждение «Институт эволюционной экологии НАН Украины», ул. Акад. Лебедева, 37, г. Київ, 03143, Украина

ПЫЛЬЦА РАСТЕНИЙ КУСТАРНИКОВОГО ЯРУСА ГОРОДСКОГО ЗЕЛЕНОГО ПРОСТРАНСТВА КАК ИНДИКАТОР СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА МЕГАПОЛИСА (НА ПРИМЕРЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА ФОРЗИЦИЯ)

Особенно важна оценка потенциальной мутагенности воздушной среды именно в зоне активной жизнедеятельности человека. На наш взгляд, многолетние растения кустарникового яруса являются наиболее информативными объектами таких исследований.

Цель. Оценка чувствительности мужского гаплоидного поколения *Forsythia suspensa* Vahl. к состоянию воздушной среды г. Киев в приземном слое и перспективность использования этого вида для индикации качества атмосферного воздуха и оценки возможных рисков для здоровья населения

Методы. Полевые, статистические. Состояние генеративной сферы *F. suspense* определяли за фертильностью и морфометрическими показателям пыльцы, определением индекса формы и доли аномальных зерен в популяции негидратированной пыльцы.

Результаты. Установлено, что наследственный аппарат *F. suspensa* чувствителен к комплексу экзогенных факторов среды выращивания растений в парковых экосистемах г. Киева. Подтверждено, что взаимодействие факторов «точка сбора + условия года» является статистически значимым в изменчивости признаков качества пыльцы, а также сказывается на размерах пыльцы этого кустарника. Отмечено большее влияние аэрополлютантов в приземном слое атмосферного воздуха на размер экваториального диаметра пыльцевых зерен этих растений. Обнаружено снижение уровня интегрального загрязнения воздуха на большинстве исследованных участков столицы из-за введения в 2020 и 2021 годы ограничительных противоэпидемических мероприятий. Эти изменения условий среды выращивания, особенно при отсутствии влияния развитой сети автомобильных дорог, отразились на доле аномальных зерен в популяциях пыльцы *F. suspensa* на исследованных участках.

Выводы. Отмечена целесообразность дальнейшего использования растений *Forsythia suspensa* для оценки состояния окружающей среды и зонирования парковых экосистем по градиенту антропогенного воздействия. Дополнение результатов биоиндикационных исследований сведениями о состоянии здоровья населения и данными о загрязнении атмосферного воздуха повышает эффективность индикации состояния окружающей среды Киева.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: фертильность, индекс формы, аномальная пыльца, аэротехногенное загрязнение, биоиндикация

Статья поступила в редакцию 12.09.2021

Статья рекомендована в печать 22.10.2021

Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: «Екологія» є збірником наукових робіт, який включено до Переліку ВАК фахових видань, в яких можна публікувати основні результати дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора і кандидата географічних наук (спеціальності 101,103) та біологічних наук (спеціальності 091,101).

До публікації приймаються статті, які написані українською або англійською мовами згідно з правилами для авторів і отримали позитивні рекомендації рецензентів.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРІВ

Електронна версія оформляється у форматі Microsoft Word, шрифт Times New Roman, розмір 11, міжрядковий інтервал 1,0, всі поля по 2,5 см. Жирним шрифтом виділяються підзаголовки у статті; курсив допускається лише у виняткових випадках.

Ілюстрації, включаючи графіки і схеми, мають бути розміщені безпосередньо в тексті. Ілюстрації подаються чорно-білими. Скрізь, де можливо, доцільніше використовувати графіки, а не таблиці.

Орієнтація сторінок – книжкова. Вирівнювання – по ширині.

Відступ для абзацу – 1,00 см.

Для статей необхідно вказати УДК (UDC): (зліва, розмір 11), ініціали та прізвище автора, науковий ступінь, звання та посаду (розмір 11, по центру), e-mail та <https://orcid.org/> усіх співавторів, повну назву установи та її адреса (розмір 10, по центру).

Анотація має бути структурованою для експериментальних робіт, тобто обов'язково вказати:

Мета. Методи. Результати. Висновки.

Текст статті має відповідати вимогам ВАК. Посилання на джерела у статті давати в прямокутних дужках [] із зазначенням номера в порядку посилання у тексті, а в окремих випадках і сторінок.

Список використаної літератури обов'язково оформляється за ДСТУ 8302:2015, обов'язково містити джерела, що опубліковані не більше 5 років тому: розмір 10, міжрядковий інтервал 1,0. Кількість посилань має бути не менше 15. Обов'язково вказувати DOI або URL-електронну адресу посилань.

Через 2 інтервали також подати прізвище, науковий ступінь, наукове звання та посаду, організацію, її повну адресу, назву статті, розширену анотацію та ключові слова англійською мовою: розмір 10, міжрядковий інтервал 1,0. Анотація повинна бути побудована як реферат у реферативних журналах та відражати суть експериментів, основні результати та їх інтерпретацію. Для експериментальних статей подати структуровані резюме де має бути вказані слова: **Purpose. Methods. Result. Conclusion.**; та **KEY WORDS** (ключові слова) – 5-6 слів

Подати також **References**, за стандартом APA (прізвище, ініціали, назва - англійською, наприкінці у дужках (In Ukrainian) або (In Russian), відповідно, та **Retrieved from** або **DOI**.

Через 2 інтервали також подати прізвище, науковий ступінь, наукове звання та посаду, організацію, її повну адресу, назву статті, анотацію та ключові слова **російською мовою**: розмір 10, міжрядковий інтервал 1,0. Для експериментальних статей подати структуровані резюме де має бути вказані слова: **Цель. Методы. Результаты. Выводы**; та ключові слова (5-6).

Ключові слова 5-6 без слів, що входять у назву.

Адреса редакції: навчально-науковий інститут екології, 4 поверх, к. 483а,
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
пл. Свободи, 6, Харків, Україна, 61022
тел. +38-057- 707-53-86 e-mail: visnykecology@karazin.ua ecology.journal@karazin.ua
Власний сайт: <http://visnecology.univer.kharkov.ua/>

Web-page: <http://periodicals.karazin.ua/ecology> (OJS)

Наукове видання

**ВІСНИК ХАРКІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
імені В. Н. КАРАЗІНА**

**СЕРІЯ «ЕКОЛОГІЯ»
Вип. 25**

Збірник наукових праць

Українською, російською та англійською мовами

Макетування та комп'ютерне верстання
Баскакова Л. В.

Підписано до друку 29.10.2021 Формат 60 x 84 ¹/₈ . Папір офсетний.
Друк ризографічний

Ум. друк. арк. 15,8. Обл.-вид. арк. 17,9
Наклад 100 пр. Зам.

61022 Харків, майдан Свободи, 6
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Надруковано ХНУ імені В. Н. Каразіна
61022, Харків, майдан Свободи, 4.
Тел. 705-24-32
Видавництво

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3367 від 13.01.09