

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 23

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

Issue 23

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

Выпуск 23

Харків
2020

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 15 від 26.10. 2020 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;

Кіосопулос Дж., д-р філософії, проф., Афіньський 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;

Медведєв В. В., д-р біол. наук, проф., ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського НААН»;

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

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

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, 2020

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 15, dated October 26, 2020)

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;
Medvedev V. V., DSc (Biology), Prof., National Scientific Center "Institute for soil science and agrochemistry research named after A. N. Sokolovsky", 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;
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

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, 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 15 от 26.10.2020 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;

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

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

Киосопулос 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, Единбургский 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;

Медведев В. В., д-р биол. наук, проф., НИЦ «Институт почвоведения и агрохимии имени А. Н. Соколовского НААН»;

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;

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

Чаплыгина 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

Деньга Ю. М., Михайленко В. І., Олейнік Ю. В., Сафранов Т. А. Особливості забруднення деякими стійкими органічними поллютантами морського середовища північно-західної частини Чорного моря.....	8
Боярин М. В., Волошин В. У., Цьось О. О. Екологічний стан річки Сапалаївка в умовах урбосистеми м. Луцьк.....	21
Царик Л. П., Кузик І. Р. Геоекологічна оцінка структури землекористування Тернопільської міської об'єднаної територіальної громади.....	30

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Буц Ю. В., Крайнюк О. В., Діденко Н. В., Барбашин В. В. Рекомендації щодо забезпечення екологічної безпеки при відновленні екосистем після пожежі.....	41
Крайнюков О. М., Кривицька І. А. Використання методу капсулювання діоксиду кремнію для відновлення нафтозабруднених ґрунтів.....	50
Сафранов Т. А., Берлінський М. А., Змієнко Д. М. Пластик твердих побутових відходів прибережної зони північно-західного Причорномор'я як складова морського сміття.....	57

ЗБАЛАНСОВАНЕ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Горошкова Л. А., Хлобистов Є. В. Економетричний аналіз сталого розвитку національного господарства.....	67
---	----

БІОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Снігірьов С. М., Медінець В. І., Абакумов О. М., Піцик В. З., Снігірьов П. М., Солтис І. Є., Конарева О. П., Заморев В. В. Результати моніторингу іхтіофауни прибережних вод острова Зміїний (Чорне море) у 2016-2017 рр.....	78
Федоряк М. М., Филипчук Т. В., Жук А. В., Тимчук К. Ю., Холівчук А. М. Противарозні ветеринарні препарати на ринку України в контексті аналізу факторів ризиків для медоносних бджіл.....	102
Коваль І. З. Вплив концентрації аеробних бактерій на процес їх життєздатності в присутності кисню.....	118
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 стандартизованого опитування бджолярів щодо втрат колоній <i>Apis mellifera</i> L. в Україні після зимівлі 2018–2019 рр.....	124
Іллєнко В. В., Шаванова К. Є., Рубан Ю. В., Паренюк О. Ю. Надходження ¹³⁷ Cs у рослини зернових культур за впливу комплексних бактеріальних препаратів.....	139
Правила для авторів.....	150

CONTENTS

ECOLOGICAL RESEARCHES OF GEOSYSTEM

Denga Yu. M., Mykhailenko V. I., Oleynik Y. V., Safranov T. A. Peculiarities of Pollution by Some Persistent Organic Pollutants of the Marine Environment of the Northwestern Part of the Black Sea.....	8
Boiaryn M. V., Voloshyn V. U., Tsos O. O. Ecological Condition of the Sapalayivka River in the Conditions of Lutsk Urbosystem.....	21
Tsaryk L. P., Kuzyk I. R. Geoecological Assessment of the Land Use Structure of Ternopil City United Territorial Community.....	30

ENVIRONMENTAL ECOLOGICAL SAFETY

Buts Y. V., Kraynyuk O. V., Didenko N. V., Barbachyn V. V. Recommendations for Ensuring Environmental Safety of Ecosystem Restoration After Fire.....	41
Krainskiy O. M., Kryvytska I. A. Use of Silicon Dioxide Encapsulation Method for Restoration of Oil-Polluted Soils.....	50
Safranov T. A., Berlinsky N. A., Zmienko D. M. Plastic of the Solid Domestic Waste on the Coastal Zone of the Northwestern Part of the Black Sea as a Component of Marine Littre.....	57

SUSTAINABLE USE OF NATURE

Horoshkova L. A., Khlobystov Ie. V. Econometric Analysis of Sustainable National Economy Development.....	67
---	----

BIOLOGICAL RESEARCH

Snihirov S. M., Medinets V. I., Abakumov A. N., Pitsyk V. Z., Snigirov P. M., Soltys I. E., Konareva O. P., Zamorov V. V. The Results of Zmiinyi Island (Black Sea) Coastal Waters Ichtiofauna Monitoring in 2016-2017.....	78
Fedoriak M. M., Fylypchuk T. V., Zhuk A. V., Tymchuk K. Y., Kholivchuk A. M. Veterinary Medicinal Products to Treat Varroosis on the Ukrainian Market in the Context of Risk Factors Analysis for Honey Bees	102
Koval I. Z. Influence of Aerobic Bacteria Concentration on the Process of its Survival in the Presence of Oxygen.....	118
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 Standardized Beekeeper Survey of Honey Bee Colony Losses in Ukraine for Winter 2018-2019.....	124
Illiienko V. V., Shavanova K. E., Ruban Y. V., Pareniuk O. Y. Transfer of ¹³⁷ Cs to Cereal Plants Due to Microorganisms Activity.....	139
Instructions for Authors.....	150

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОСИСТЕМ

Деньга Ю. М., Михайленко В. И., Олейник Ю. В., Сафранов Т. А. Особенности загрязнения некоторыми стойкими органическими поллютантами морской среды северо-западной части Черного моря.....	8
Боярин М. В., Волошин В. У., Цёсь О. А. Экологическое состояние речки Сапалаевка в условиях урбосистемы города Луцк.....	21
Царик Л. П., Кузик И. Р. Геоэкологическая оценка структуры землепользования Тернопольской городской объединенной территориальной общины.....	30

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Буц Ю. В., Крайнюк Е. В., Диденко Н. В., Барбашин В. В. Рекомендации по обеспечению экологической безопасности при восстановлении экосистем после пожара.....	41
Крайнюков А. Н., Кривицкая И. А. Применение метода капсулирования диоксида кремния для восстановления нефтезагрязненных почв.....	50
Сафранов Т. А., Берлинский Н. А., Змиенко Д. М. Пластик твёрдых бытовых отходов прибрежной зоны северо-западного Причерноморья как составляющая морского мусора.....	57

СБАЛАНСИРОВАННОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Горошкова Л. А., Хлобыстов Е. В. Эконометрический анализ устойчивого развития национального хозяйства.....	67
--	----

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Снигирев С. М., Мединец В. И., Абакумов А. Н., Пицык В. З., Снигирев П. М., Солтыс И. Е., Конарева О. П., Заморев В. В. Результаты мониторинга ихтиофауны прибрежных вод острова Змеиный (Черное море) в 2016-2017 гг.....	78
Федоряк М. М., Филипчук Т. В., Жук А. В., Тимчук К. Ю., Холивчук А. Н. Противоварроатозные ветеринарные препараты на рынке Украины в контексте анализа факторов риска для медоносных пчел	102
Коваль И. З. Влияние концентрации аэробных бактерий на процесс их жизнеспособности в присутствии кислорода.....	118
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 стандартизированного опроса пчеловодов о потерях колоний <i>Apis mellifera</i> L. в Украине после зимовки 2018–2019 гг.....	124
Ильенко В. В., Шаванова Е. Е., Рубан Ю. В., Паренюк Е. Ю. Поступления ¹³⁷ Cs в растения зерновых культур под влиянием комплексных бактериальных препаратов.....	139
Правила для авторов.....	150

ЕКОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОСИСТЕМ

УДК (UDC): 504.454

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-23-01>

**Ю. М. ДЕНЬГА¹, В. І. МИХАЙЛЕНКО²,
Ю. В. ОЛЕЙНИК¹, Т. А. САФРАНОВ²**, д-р г.-м. наук, проф.

¹Український науковий центр екології моря
вул. Французький бульвар, 89, м. Одеса, 65000, Україна

²Одеський державний екологічний університет
вул. Львівська, 15, м. Одеса, 65016, Україна

e-mail: lawmd@te.net.ua
vladislav.mykhailenko@gmail.com
accem@te.net.ua
safranov@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6667-2457>

<http://orcid.org/0000-0003-0928-5121>

ОСОБЛИВОСТІ ЗАБРУДНЕННЯ ДЕЯКИМИ СТІЙКИМИ ОРГАНІЧНИМИ ПОЛЮТАНТАМИ МОРСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ ЧОРНОГО МОРЯ

Мета. Оцінка забруднення морського середовища північно-західної частини Чорного моря деякими стійкими органічними поллютантами (СОП), зокрема, поліхлорованими біфенілами (ПХБ) та гексахлорбензолом (ГХБ).

Методи. Вміст ПХБ і ГХБ визначався на газовому хроматографі Agilent 7890В з капілярною колоною і детектором електронного захвату за допомогою методик Агентства захисту навколишнього середовища США (ЕРА-3545А, 3630С, 8081, 8082А, 8275А). Екологічний стан морського середовища визначався за допомогою розроблених в УкрНЦЕМ «Екологічних стандартів якості морського середовища», які дозволяють оцінити стан якості складових морського середовища (морської води, донних відкладів та біоти).

Результати. Методику екологічних стандартів адаптовано для оцінки забруднення морського середовища СОП. Визначено екологічний стан морської води та донних відкладів північно-західної частини Чорного моря за встановленими величинами гранично-допустимих концентрацій (ГДК) та екологічних нормативів (ЕН). Оцінено екологічний стан морської біоти за забрудненням ГХБ згідно до встановленого екологічного нормативу, для оцінки екологічного стану гідробіонтів на предмет забруднення ПХБ використано європейський аналог ГДК (MAC-EQS) для морських організмів промислового призначення (але варто зазначити, що оцінку проведено лише для недіоксиноподібних ПХБ). Виявлено необхідність затвердження в Україні на законодавчому рівні нормативів вмісту ПХБ у морських організмах, зокрема, – промислового значення. Для повної оцінки екологічного стану та особливостей забруднення СОП морського середовища північно-західної частини Чорного моря необхідно запровадити комплексну систему моніторингу, яка б дозволяла проводити аналіз забруднення морського середовища всіма СОП, передбаченими вимогами Стокгольмської конвенції.

Висновки. Екологічний стан морської води північно-західної частини Чорного моря за забрудненням СОП у більшості випадків відповідає категорії «дуже добрий». Стан морської біоти у більшості випадків відповідає класам якості «добрий» та «дуже добрий», проте в Україні не встановлено чітких нормативів, які б регулювали вміст ПХБ у морській біоті, зокрема – у тих видах морських організмів, які мають промислове значення. Екологічний стан донних відкладів в основному класифікується як «задовільний» та «поганий», що за певних природних умов може стати джерелом вторинного забруднення морської води та біоти. Для повної оцінки екологічного стану необхідно врахувати всі СОП, що може суттєво змінити результати оцінки стану якості морського середовища північно-західної частини Чорного моря.

© Деньга Ю. М., Михайленко В. І., Олейник Ю. В., Сафранов Т. А., 2020



[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/)

КЛЮЧОВІ СЛОВА: стійкі органічні поллютанти, поліхлоровані біфеніли, гексахлорбензол, екологічний стандарт, коефіцієнт забруднення, екологічний стан

Denga Yu. M.¹, Mykhailenko V. I.², Oleynik Y. V.¹, Safranov T. A.²

¹Ukrainian Scientific Center of Ecology of Sea, Frantsuzsky Blvd., 89, Odesa, 65009, Ukraine

²Odesa State Environmental University, Lvivska Str., 15, Odesa, 65016, Ukraine

PECULIARITIES OF POLLUTION BY SOME PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS OF THE MARINE ENVIRONMENT OF THE NORTHWESTERN PART OF THE BLACK SEA

Purpose. The study is aimed at estimation of marine pollution in the northwestern part of the Black Sea by some persistent organic pollutants (POPs), in particular polychlorinated biphenyls (PCBs) and hexachlorobenzene (HCB).

Methods. Peculiarities of marine pollution were determined on the basis of research conducted at the Ukrainian Scientific Center of Ecology of the Sea (UkrSCES). The content of PCBs and HCB was determined on a gas chromatograph Agilent 7890B with a capillary column and an electronic capture detector using the methods of the US Environmental Protection Agency (EPA-3545A, 3630C, 8081, 8082A, 8275A). The ecological state of the marine environment was determined using developed in UkrSCES the "Ecological standards of marine environment quality", which allow us to assess the quality status of such components of the marine environment (sea water, bottom sediments and biota).

Results. The methodology of environmental standards has been adapted to assess the pollution of the marine environment of POPs. The ecological state of sea water and bottom sediments of the northwestern part of the Black Sea is determined according to the established values of Maximum Concentration Limit (MCL) and Ecological Standards (ES). The ecological state of marine biota was assessed by HCB pollution according to the established Ecological Standard. The European analogue of MCL (MAC-EQS) for industrial marine organisms was used to assess the ecological state of marine organisms for PCBs pollution (but it should be noted that the assessment was performed only for non-dioxin-like PCBs. Standard for the content of PCBs in marine organisms, in particular, – of industrial importance, must be implemented in Ukraine at the legislative level. For integral assessment of the ecological state of the marine environment and the specifics of POPs pollution in the northwestern part of the Black Sea, it is necessary to introduce a comprehensive monitoring system that would analyze marine pollution by all POPs required by the Stockholm Convention.

Conclusions. The ecological state of the sea water of the northwestern part of the Black Sea by POPs pollution in most cases corresponds to the category "very good". The state of marine biota in most cases corresponds to the quality classes "good" and "very good", but in Ukraine there are no clear standards that would regulate the content of PCBs in marine biota, in particular – for industrial important species of marine organisms. The ecological condition of bottom sediments is mainly classified as "satisfactory" and "poor", which under certain natural conditions can be a source of secondary pollution of sea water and biota. For integral assessment of the ecological state, it is necessary to take into account all POPs, which can significantly change the results of the assessment of the quality of the marine environment of the northwestern part of the Black Sea.

KEYWORDS: persistent organic pollutants, polychlorinated biphenyls, hexachlorobenzene, ecological standards, pollution factor, environmental state

Деньга Ю. М.¹, Михайленко В. И.², Олейник Ю. В.¹, Сафранов Т. А.²

¹Украинский научный центр экологии моря, ул. Французский бульвар, 89, г. Одесса, 65000, Украина

²Одесский государственный экологический университет, ул. Львовская, 15, г. Одесса, 65016, Украина

ОСОБЕННОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕКОТОРЫМ СТОЙКИМИ ОРГАНИЧЕСКИМИ ПОЛЮТАНТАМИ МОРСКОЙ СРЕДЫ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Цель. Оценка загрязнения морской среды северо-западной части Черного моря некоторыми стойкими органическими поллютантами (СОП), в частности, такими, как полихлорированные бифенилы (ПХБ) и гексахлорбензол (ГХБ).

Методы. Содержание ПХБ и ГХБ определяли на газовом хроматографе Agilent 7890B с капиллярной колонкой и детектором электронного захвата с помощью методик Агентства защиты окружающей среды США (EPA-3545A, 3630C, 8081, 8082A, 8275A). Экологическое состояние морской среды определялось при помощи разработанных в УкрНЦЭМ «Экологических нормативов качества морской среды» (ЕН), которые позволяют оценить состояние качества составляющих морской среды (морской воды, донных отложений и биоты).

Результаты. Методику экологических стандартов было адаптировано для оценки загрязнения морской среды СОП. Определено экологическое состояние морской воды и донных отложений северо-западной части Черного моря по установленным величинами предельно допустимых концентраций (ПДК) и экологических нормативов (ЕС). Оценено экологическое состояние морской биоты по загрязнению ГХБ согласно установленному экологическому нормативу. Для оценки экологического состояния гидробионтов на предмет загрязнения ПХБ использовано европейский аналог ПДК (MAC-EQS) для мор-

ских организмов промышленного значения (но стоит отметить, что оценка проведена только для недюк-синоподобных ПХБ). Выявлена необходимость утверждения в Украине на законодательном уровне нормативов содержания ПХБ в морских организмах, в частности, – промышленного значения. Для полноценной оценки экологического состояния и особенностей загрязнения СОП морской среды северо-западной части Черного моря необходимо ввести комплексную систему мониторинга, которая бы позволила проводить анализ загрязнения морской среды всеми СОП, предусмотренными требованиями Стокгольмской конвенции.

Выводы. Экологическое состояние морской воды северо-западной части Черного моря по загрязнению СОП в большинстве случаев соответствует категории «очень хорошее». Состояние морской биоты в большинстве случаев соответствует классам качества «хорошее» и «очень хорошее», однако в Украине не установлено четких нормативов, регулирующих содержание ПХБ в морской биоте, в частности – в тех видах морских организмов, которые имеют промышленное значение. Экологическое состояние донных отложений в основном классифицируется как «удовлетворительное» и «плохое», что при определенных природных условиях может стать источником вторичного загрязнения морской воды и биоты. Для полной оценки экологического состояния необходим учет все СОП, что может существенно изменить результаты оценки состояния качества морской среды северо-западной части Черного моря.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: стойкие органические поллютанты, полихлорированные бифенилы, гексахлорбензол, экологический стандарт, коэффициент загрязнения, экологическое состояние

Вступ

Поліхлоровані біфеніли (ПХБ) і гексахлорбензол (ГХБ) входять до групи «стійких органічних забруднювачів», які підпадають під дію Стокгольмської Конвенції ООН від 2001 р., коли 90 країн світу прийняли рішення про скорочення або припинення виробництва, використання та/або недопущення витоку цих екологічно-небезпечних речовин. Нагадаємо, що словосполучення «стійкі органічні забруднювачі» (СОЗ) було вжито через недосконалий переклад з англійської мови словосполучення «Persistent Organic Pollutants» (POPs), де слово «pollutants» перекладається не як «забруднювачі», а як «поллютанти», тобто «забруднюючі речовини». Згідно до «ДСТУ 3041–95. Гідросфера. Використання і охорона води. Держстандарт України, 1995» [1], «забруднювачі» – це «джерела забруднення», а тому словосполучення «стійкі органічні забруднювачі» не є коректним. За М. Ф. Реймерсом (1990), забруднювачі – це також джерела забруднення оточуючого середовища. Саме тому ми пропонуємо вживати словосполучення «стійкі органічні забруднюючі речовини» (СОЗР) або за аналогію з базовою англійською версією – «стійкі органічні поллютанти» (СОП).

Характеристика властивостей ПХБ наведена в багатьох роботах, у тому числі в узагальнюючих роботах [2, 3]. Вони є токсичними органічними сполуками, які надовго зберігаються в довкіллі і акумулюються в жирах. ПХБ є одним з небагатьох СОП глобального масштабу. Їх виявляли в невеликих, але вимірних концентраціях майже у всіх морських, рослинних і тваринних організмах (в рибі, ссавців, птахів, пташиних яйцях і в людському організмі). ПХБ здатні до біологі-

чного концентрування (наприклад, середні коефіцієнти біологічного концентрування ПХБ, що надходять з води в фітопланктон, коливається від 10 тис. до 1 млн.); риби накопичують у своїх тканинах ПХБ в 750 тис. разів перевищуючих вміст цих речовин в воді, в якій вона мешкає).

Суміші ПХБ мають унікальні фізико-хімічні властивості, що визначили їх широке використання в промисловості. За багаторічний період інтенсивного використання ПХБ в промисловості в багатьох країнах світу величезні кількості цих сполук забруднювали навколишнє природне середовище (НПС). Основними джерелами надходження ПХБ до НПС є: витоки з трансформаторів, конденсаторів, теплообмінників, гідравлічних систем; випаровування з виробів (лаків, фарб, пластмас), що містять ПХБ; звалища твердих побутових відходів (ТПВ) і поля аерації, викиди при спалюванні ТПВ на звалищах; пестициди, які містять ПХБ тощо. Незважаючи на заборону використання ПХБ у багатьох країнах, 35% загального обсягу вироблених ПХБ знаходиться в НПС, причому більша їх частина акумулюється у морському середовищі. На думку окремих дослідників [4], в морському середовищі зосереджено понад 98% від загальної кількості ПХБ. Фонові концентрації ПХБ в морській воді складають приблизно 0,5-2,0 нг/дм³ [5]. Якщо для вод господарсько-питного призначення значення ГДК (наприклад, в РФ) складає 0,001 мг/дм³, то у водах рибогосподарського призначення їх наявність не припускається [6].

Гексахлорбензол (ГХБ) – одна з найбільш небезпечних органічних сполук, що відноситься до I класу безпеки, не здатних

до біодеградації у природних умовах. При повільному розкладанні ГХБ у НПС утворюються нові хімічні сполуки, які виявляють різні хімічні та біологічні властивості. ГХБ використовувався як пестицид (інсектицид і фунгіцид). Суміші ГХБ з іншими препаратами застосовувалися для протруювання насіння зернових культур. Використання ГХБ в якості препарату для захисту рослин було заборонено в Європейському союзі в 1988 р. ГХБ також використовується у виробництві хлорованих органічних розчинників (тетрахлоретилен, трихлоретилен і тетрахлорметан). ГХБ має низьку розчинність в воді та низьку рухливість в ґрунтах. Дуже низькі концентрації ГХБ зафіксовані в ґрунтових і міжпластових водах. ГХБ може накопичуватися в тілах риб, морських ссавців, птахів, лишайниках, сільськогосподарських рослинах тощо. Високі концентрації ГХБ можуть бути причиною загибелі ссавців, птахів або риб, а також низького темпу зростання рослин. Гострі ефекти спостерігаються через два-чотири дні після того, як тварини або рослини вступають в контакт з токсичною хімічною речовиною. Хронічний токсичний ефект може включати

скорочення тривалості життя, репродуктивні проблеми, зниження народжуваності, зміни в зовнішності і поведінці. ГХБ впливає на репродуктивні функції, а також може мати серйозний вплив на токсичність молока жінок, які годують дитину. Більш того, ГХБ впливає на розвиток плода, імунну систему, функціонування нирок, печінки і центральної нервової системи. Найбільш чутливими до впливу ГХБ є нервова система і печінка. Основний шлях надходження ГХБ у НПС – це використання його в якості пестициду (хоча в ряді країн він заборонений до застосування); при використанні в хімічній промисловості; при забрудненні речовинами, що синтезуються з ПХБ; при розкладанні пестициду ліндану [7].

Також варто відмітити, що всі джерела надходження СОП у морське середовище знаходяться за межами морського середовища, розрахунок та аналіз утворення СОП від різних джерел в Одеському регіоні детально розглядався нами у роботах [8, 9].

Метою роботи є оцінка забруднення ПХБ і ГХБ морського середовища північно-західної частини Чорного моря.

Об'єкти та методи дослідження

Особливості забруднення морського середовища визначалися на основі даних досліджень, проведених в Українському науковому центрі екології моря (УкрНЦЕМ). Вміст ПХБ і ГХБ визначався за допомогою методик Агентства захисту навколишнього середовища США EPA-3545A, 3630C, 8081, 8082A, 8275A. Вміст цих стійких органічних поллютантів визначався в поверхневому шарі морської води, донних відкладах та в морських організмах.

Для оцінки рівня забруднення складових морського середовища було використано такий показник, як коефіцієнт забруднення (K_3):

$$K_3 = \frac{\sum_1^n \frac{C_i}{ГДК_i}}{m}, \text{ або } K_3 = \frac{\sum_1^n \frac{C_i}{ЕН_i}}{m},$$

Результати та обговорення

Для оцінки екологічного стану морської води за вмістом ПХБ та ГХБ використано дані результатів відбору та аналізу проб, здійснених в рамках дослідження забруднення морської води хлорорганічними пестицидами та поліхлорбіфенілами під час експедицій, проведених Українським науковим центром екології моря.

де C_i – концентрація i -ї забруднюючої речовини; $ГДК_i$ – гранично допустима концентрація i -ї забруднюючої речовини (відповідно директиві ЄС 2013/39/EU (MAC-EQS)), або гранично допустима концентрація (відповідно українського законодавства); $ЕН_i$ – значення екологічного нормативу i -ї забруднюючої речовини; n – кількість забруднюючих речовини; m – кількість вимірювань.

Величина K_3 відображає концентрацію забруднюючої речовини в окремий проміжок часу в заданому районі або об'єкті. Варто зазначити, що точність оцінки екологічного стану району за допомогою K_3 залежить від кількості станцій моніторингу та кількості спостережень за проміжок часу, який оцінюється. Значення K_3 та відповідний їм екологічний стан морської води наведено у таблиці 1.

Для зручності опрацювання матеріалів, K_3 знаходився по відношенню до середніх значень концентрацій забруднюючих речовин для кожного з водних об'єктів. Результати розрахунків та екологічна оцінка морської води для кожного з водних об'єктів наведено у таблиці 2.

Таблиця 1

Екологічний стан відповідно до значень K_z забруднюючої речовини та об'єкту дослідження (значення наведені для забруднення СОП)

Категорія екологічного стану	Значення K_z		
	Морська вода	Донні відклади	Біота
Дуже добрий	< 0,5	< 0,2	< 0,2
Добрий	0,5 – 1,0	0,2 – 1,0	0,2 – 1,0
Задовільний	1,0 – 2,5	1,0 – 5,0	1,0 – 5,0
Поганий	2,5 – 5,0	5,0 – 25,0	5,0 – 25,0
Дуже поганий	5,0 – 10,0	25,0 – 50,0	25,0 – 50,0
Критичний	> 10	> 50	> 50

Таблиця 2

Стан морської води за вмістом суми ПХБ у (AR-1254, Ar-1260) в деяких районах північно-західної частини Чорного моря

AR-1254 нг/дм ³	ЕН, нг/дм ³	K_z	Екологічний стан	AR-1260 нг/дм ³	ЕН, нг/дм ³	K_z	Стан морської води
Експедиція «NPMS-UA Phyllophora», квітень 2017 р.							
34,68	100	0,35	Дуже добрий	13,95	100	0,14	Дуже добрий
Експедиція «NPMS-UA Phyllophora», липень 2017 р.							
26,08	100	0,26	Дуже добрий	23,68	100	0,24	Дуже добрий
Експедиція «NPMS-UA Phyllophora», серпень 2017 р.							
14,33	100	0,14	Дуже добрий	11,85	100	0,12	Дуже добрий
Експедиція «NPMS-UA Water bodies», серпень 2017 р.							
68,77	100	0,69	Добрий	30,27	100	0,30	Дуже добрий
Експедиція «JOSS-GE-UA, Ukrainian part», серпень 2017 р.							
143,08	100	1,43	Задовільний	29,89	100	0,30	Дуже добрий
Експедиція «Дунайський район», серпень 2017 р.							
8,26	100	0,08	Дуже добрий	13,8	100	0,14	Дуже добрий
Експедиція «Дунайський район», листопад 2017 р.							
69,94	100	0,70	Добрий	12,73	100	0,13	Дуже добрий
Район острова Зміїний, квітень 2017 р.							
50,7	100	0,51	Добрий	427,0	100	4,27	Поганий
Район острова Зміїний, червень 2017 р.							
39,27	100	0,39	Дуже добрий	11,86	100	0,12	Дуже добрий

Під час експедиції «NPMS-UA Phyllophora» відбори проб відбувалися на станціях, розташованих на території Філофорного поля Зернова; під час експедиції «JOSS-GE-UA, Ukrainian part» – в прибережних районах, прилеглих до Дністровського регіону, Озера Сасик, Дельти Дунаю, Тендрівської коси, Тилігульського лиману та в Одеської Затоці; під час експедиції «JOSS-GE-UA, Ukrainian part» – в прибережних районах, прилеглих до дельти Дунаю, Одеського регіону та у відкритому морі.

Як видно з отриманих результатів, в цілому, стан морської води за вмістом суми

ПХБ по відношенню до стандартів AR-1254 та AR-1260 класифікується як «добрий» та «дуже добрий». «Задовільним» станом оцінюється стан морської води, який визначався під час експедиції «JOSS-GE-UA» у серпні 2017 р за концентрацією у воді суми ПХБ по відношенню до стандарту AR-1254. Варто відмітити, що під час цієї експедиції на станції № 4, яка розташована у відкритому районі моря, було зафіксовано концентрацію 444 нг/дм³, що набагато вище глобального фону ПХБ в морській воді (0,5-2,0 нг/дм³) та відповідає $K_z = 4,44$, а тому стан морської води визначений як «поганий». За

результатами досліджень в районі острова Зміїний у квітні 2017 р. за вмістом суми ПХБ по відношенню до стандарту AR-1260, стан морської води визначений також як «поганий». Аналогічні результати оцінки екологічного стану морської води за вмістом ГХБ наведено у таблиці 3.

З отриманих результатів видно, що стан морської води під час всіх експедицій відповідає категорії «дуже добрий». Перевищень на окремих станціях відбору проб також не зафіксовано, але слід визначити, факт наявності ГХБ в морській воді, що не припускається у водах рибогосподарського призначення.

Концентрація ПХБ і ГХБ у донних відкладеннях є індикатором довготривалого забруднення морського середовища. Більш того, ПХБ і ГХБ, згідно Стокгольмської Конвенції ООН, заборонені для використання, але концентрації цих поллютантів і досі фіксуються у морському середовищі. Причиною цьому може бути саме накопичення цих речовин у донних відкладах, так як вони знаходяться в сприятливих умовах для акумуляції і консервації та можуть бути джерелом вторинного забруднення морської води та біоти.

Як і у випадку із даними забруднення морської води, для зручності роботи вели-

Таблиця 3

Стан морської води за вмістом ГХБ в деяких районах північно-західної частини Чорного моря

ГХБ, нг/дм ³	ЕН, нг/дм ³	K ₂	Стан морської води
Експедиція «NPMS-UA Phyllophora», квітень 2017 р.			
1,30	30,00	0,04	Дуже добрий
Експедиція «NPMS-UA Phyllophora», липень 2017 р.			
0,98	30,00	0,03	Дуже добрий
Експедиція «NPMS-UA Phyllophora», серпень 2017 р.			
0,22	30,00	0,01	Дуже добрий
Експедиція «NPMS-UA Water bodies», серпень 2017 р.			
0,46	30,00	0,02	Дуже добрий
Експедиція JOSS-GE-UA, Ukrainian part, серпень 2017 р.			
0,18	30,00	0,01	Дуже добрий
Дунайський район, серпень 2017 р.			
0,21	30,00	0,01	Дуже добрий
Дунайський район, листопад 2017 р.			
0,31	30,00	0,01	Дуже добрий
Район острова Зміїний, квітень 2017 р.			
0,49	30,00	0,02	Дуже добрий
Район острова Зміїний, червень			
10,04	30,00	0,33	Дуже добрий

чина K₂ для донних відкладів розраховувалась на основі середніх значень, отриманих під час експедиційних робіт в певних районах північно-західної частини Чорного моря (табл. 4, 5).

Як видно з отриманих результатів, жодний район досліджень не можна охарактеризувати як «дуже добрий», на відміну від результатів для морської води, що пояснюється кумулятивним ефектом ПХБ та ГХБ.

Аналіз забруднення суми ПХБ (AR-1260) під час експедицій на Філофорному

полі Зернова у липні та серпні 2017 р. відповідає стану «задовільний», а під час експедиції у серпні 2017 р. – стану «поганий». Під час експедицій «NPMS-UA Water bodies» та JOSS-GE-UA, які також здійснювалися у серпні 2017 р., стан донних відкладів оцінюється як «поганий». Дослідження проб донних відкладів Дунайського району (серпень 2017 р.) та острова Зміїний (червень 2017 р.) показав їх «задовільний» стан, а у Дунайському районі (листопад 2017 р.) – «добрий стан».

Таблиця 4

Стан донних відкладів за вмістом суми ПХБ (AR-1254, AR-1260) в деяких районах північно-західної частини Чорного моря

AR-1254 нг/г	ЕН, нг/г	K _z	Екологічний стан	AR-1260 нг/г	ЕН, нг/г	K _z	Стан донних відкладів
Експедиція «NPMS-UA Phyllophora», квітень 2017 р.							
71,4	20	3,57	Задовільний	94,3	20	4,71	Задовільний
Експедиція «NPMS-UA Phyllophora», липень 2017 р.							
24,8	20	1,24	Задовільний	44,5	20	2,23	Задовільний
Експедиція «NPMS-UA Phyllophora», серпень 2017 р.							
75,0	20	3,75	Задовільний	140	20	7,00	Поганий
Експедиція «NPMS-UA Water bodies», серпень 2017 р.							
47,5	20	2,37	Задовільний	291	20	14,5	Поганий
JOSS-GE-UA, серпень 2017 р.							
51,5	20	2,58	Задовільний	182	20	9,10	Поганий
Дунайський район, серпень 2017 р.							
14,71	20	0,74	Добрий	39,1	20	1,96	Задовільний
Дунайський район, листопад 2017 р.							
11,8	20	0,59	Добрий	16,2	20	0,81	Добрий
Район острова Зміїний, червень 2017 р.							
18,5	20	0,92	Добрий	33,0	20	1,65	Задовільний

Таблиця 5

Стан донних відкладів за вмістом суми ГХБ в деяких районах північно-західної частини Чорного моря

Середня концентрація ГХБ, нг/г	ЕН, нг/г	K _z	Стан донних відкладів
Експедиція «NPMS-UA Phyllophora», квітень 2017 р.			
29,5	2,50	11,8	Поганий
Експедиція «NPMS-UA Phyllophora», липень 2017 р.			
1,08	2,50	0,43	Добрий
Експедиція «NPMS-UA Phyllophora», серпень 2017 р.			
1,73	2,50	0,69	Добрий
Експедиція «NPMS-UA Water bodies», серпень 2017 р.			
2,28	2,50	0,91	Добрий
JOSS-GE-UA, серпень 2017 р.			
1,20	2,50	0,48	Добрий
Дунайський район, серпень 2017 р.			
1,78	2,50	0,71	Добрий
Дунайський район, листопад 2017 р.			
1,38	2,50	0,55	Добрий
Район острова Зміїний, червень 2017 р.			
0,84	2,50	0,34	Добрий

Дані, наведені у таблиці 5, показують, що під час всіх експедицій стан донних відкладів за вмістом ГХБ характеризується як «добрий», крім експедиції «NPMS-UA Phyllophora», яка відбувалася у квітні 2017 р. та під час якої встановлено стан донних відкладів як «поганий».

Оцінка морської біоти на предмет забруднення ПХБ та ГХБ є надважливим фактором з точки зору екологічної безпеки. Відомо, що з кожним трофічним рівнем концентрація поллютантів зростає, а ті морські організми, які вживаються у якості їжі людиною, звичайно, є консументами вищого

порядку. Особливо помітним ефект зростання концентрації поллютантів у трофічних ланцюгах є у випадку ПХБ та ГХБ, так як це стійкі органічні забруднюючі речовини, які добре акумулюються у жирових тканинах та за період життя цих гідробіонтів майже не встигають вивестися з їх організму. Приклад

такої акумуляції ПХБ у трофічних ланцюгах показано на рисунку.

Оцінити ступінь забруднення біоти ПХБ і ГХБ досить складно, адже в Україні на законодавчому рівні існує лише одна величина гранично допустимої концентрації ПХБ у рибі та рибопродуктах – 5 мкг/кг у

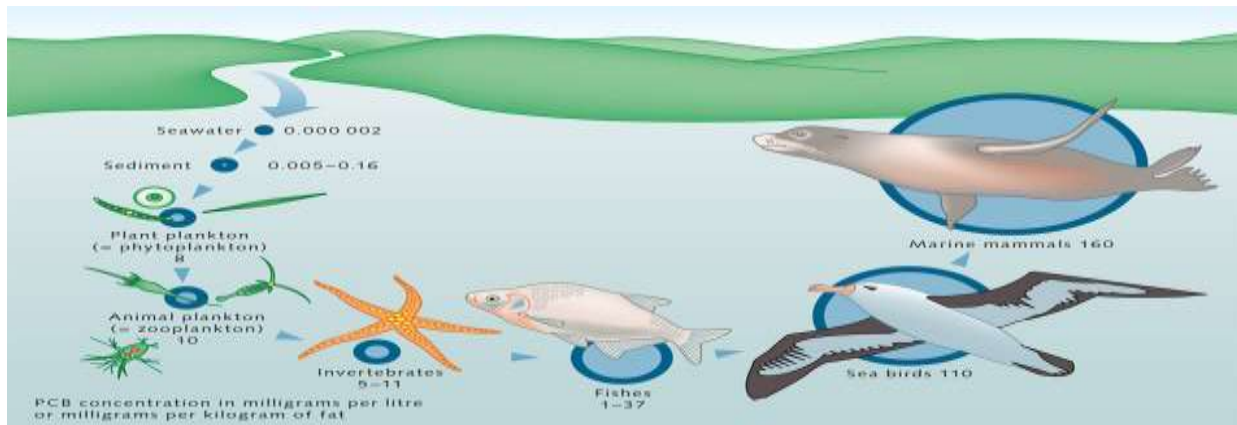


Рис. – Зміна концентрацій ПХБ у харчовому ланцюгу водної екосистеми, мг/дм³ або мг/кг ваги жиру [10]

перерахунку на ліпіди. По-перше, ця величина дозволяє оцінити забруднення не всієї морської біоти, а, по-друге, отримані результати вимірювання концентрації ПХБ та ГХБ у біоті, надані УкрНЦЕМ, наведені у одиницях вимірювання мкг/кг вологої ваги. Саме тому одним із можливих варіантів оцінки є використання аналогічних ГДК величин, які затверджені міжнародними нормативними документами. Варто зазначити, що ми будемо використовувати величини, які регламентують вміст ПХБ і ГХБ у рибі та морських продуктах як у продуктах харчування.

Відповідно до документу «Commission Regulation (EU) No. 1259/2011 amending Regulation (EC) No. 1881/2006 as regards maximum levels for dioxins, dioxin-like PCBs and non dioxin-like PCBs in foodstuffs» [11], у морських продуктах оцінюється вміст ПХДД/Ф, діоксиноподібних ПХБ (ДП ПХБ) та суми деяких індивідуальних недіоксиноподібних ПХБ (НДП ПХБ). На жаль, для встановлення стану біоти за вмістом ПХДД/Ф та ДП ПХБ недостатньо вихідної інформації, але оцінку забруднення біоти індивідуальними недіоксиноподібними ПХБ здійснити можливо. Згідно до цього документу, допустима концентрація суми індивідуальних недіоксиноподібних ПХБ, складає 75 нг/г вологої ваги (табл. 6).

За результатами, наведеними у таблиці 6, можна зробити висновок, що стан морської біоти у 10 випадках із 23 за забрудненням сумою індивідуальних ПХБ відповідає оцінкам «добрий», у 6 випадках – «дуже добрий», і у 7 випадках – «задовільний».

Для ГХБ доцільно використати затверджене у ЄС значення Environmental quality standard (MAC-EQS), яке для ГХБ в біоті є рівним 10 нг/г. З використанням цього значення було виконано оцінку стану морської біоти, яка наведена у таблиці 7.

З отриманих результатів видно, що в цілому стан морської біоти за забрудненням ГХБ відповідає оцінкам «дуже добрий» та «добрий», і лише у 4-х випадках відповідає оцінці «задовільний» (мідії на Філофорному полі Зернова на станції 4рh у квітні та серпні, 9рh у липні, та в районі острова Зміїний у червні).

Отже, за вмістом індивідуальних недіоксиноподібних ПХБ і ГХБ якість морської біоти є придатною до вживання. Але для повної оцінки забруднення морської біоти СОП необхідно знати результати вимірювання недіоксиноподібних ПХБ та ПХДД/Ф.

Виходячи із визначення коефіцієнта забруднення, він може бути розрахований як для окремої ЗР, так і для групи речовин, за якими здійснюється спостереження. Са-

Таблиця 6

Стан морської біоти за вмістом індивідуальних ПХБ у в деяких районах північно-західної частини Чорного моря

Станція	Вид біоти	Концентрація індивідуальних недіоксиподібних ПХБ, нг/г						Сума	K _з	Стан біоти
		ПХБ 28	ПХБ 52	ПХБ 101	ПХБ 138	ПХБ 153	ПХБ 180			
Філофорне поле Зернова, квітень 2017 р.										
4ph	Мідія	22,7	21,9	16,6	12,1	10,5	1,93	85,73	1,14	Задовільний
4a ph	Мідія	12,5	13,5	12,4	8,36	8,99	2,09	57,84	0,77	Добрий
Філофорне поле Зернова, липень 2017 р.										
10ph	Мідія	4,20	4,84	11,2	15,2	0	6,35	41,79	0,56	Добрий
9ph	Мідія	0	0	0	0	66,0	31,7	97,70	1,30	Задовільний
4ph	Мідія	0,53	0	0	50,9	37,6	15,2	104,23	1,39	Задовільний
Філофорне поле Зернова, серпень 2017 р.										
4ph	Мідія	0,29	0	0	1,97	3,87	5,20	11,33	0,15	Дуже добрий.
10ph	Мідія	1,63	0	0	0,13	2,80	0,58	5,14	0,07	Дуже добрий
11ph	Мідія	0	0	0	0	2,79	1,39	4,18	0,06	Дуже добрий
Водні об'єкти, серпень 2017 р.										
2w	Рапана	0	23,2	2,00	6,41	3,2	17,2	52,01	0,69	Добрий
2w	Хамелія	3,49	2,10	5,57	5,48	2,87	0,62	20,13	0,27	Добрий
3w	Рапана	0	35,7	49,5	81,2	0	65,3	231,7	3,09	Задовільний
5w	Мідія	1,27	12,1	0	0,64	3,41	1,99	19,41	0,26	Добрий
5w	Рапана	0	0	7,22	113	45,8	125	291,0	3,88	Задовільний
6w	Мідія	5,78	9,59	9,15	8,69	3,64	34,2	71,05	0,95	Добрий
7w	Мідія	3,36	5,71	6,20	8,56	7,55	3,87	35,25	0,47	Добрий
Острів Зміїний, червень 2017 р.										
Рапана (3 роки)		0	0	0	20,8	17,0	0	37,80	0,50	Добрий
Рапана (4 роки)		0	0	0	115	77,8	165	357,8	4,77	Задовільний
Рапана (6 р.)		0	0	0	0	0	0	0	0	Дуже добрий
Мідія (3 роки)		0	0	0	0	19,5	0	19,50	0,26	Добрий
Мідія (6 років)		0	0	0	6,88	0	3,90	10,78	0,14	Дуже добрий
Ставрида звич.		0	13,7	167	0	0	0	180,7	2,41	Задовільний
Бичок чорний		0	27,7	0	0	0	12,9	40,60	0,54	Добрий
Мерланг		0	0	0	0	0	0	0	0	Дуже добрий

ме тому нами було розраховано загальний K_з для ПХБ та ГХБ, за якими здійснювалися вимірювання, результати представлено у таблицях 8 та 9. Таким чином, екологічний стан морської води за K_з загалом майже у всіх випадках відповідає оцінці «дуже добрий». У свою чергу екологічний стан донних відкладів у половині випадків класифікується як «задовільний», у двох випадках – «поганий», і лише у двох випадках «добрий».

Для морської біоти оцінка стану «поганий» та «дуже поганий» не встановлена, а оцінка «задовільний» виявлена для 7 випадків із 23 – у всіх інших випадках стан мор-

ської біоти класифікується як «добрий» та «дуже добрий». Проте цікавим є той факт, що на станції, розташованій на острові Зміїний, концентрація суми ПХБ та ГХБ у мідій віком 3 років вища, ніж у мідій віком 6 років. Також концентрація ПХБ для рапани віком 3 і 4 роки вища, ніж у рапани віком 6 років (у рапани даного віку зафіксовано концентрацію ПХБ, рівну «0»). Це може пояснюватися різним географічним розташуванням моллюсків в районі острова Зміїний і різною інтенсивністю надходження цих поллютантів у морське середовище протягом різних відрізків часу.

Таблиця 7

Стан морської біоти за вмістом ГХБ у в деяких районах північно-західної частини Чорного моря

Станція	Широта	Довгота	Вид біоти	ГХБ, нг/г	K_3	Стан біоти
Філофорне поле Зернова, квітень 2017 р.						
4ph	45,5064	30,50402	Мідія	43,7	4,37	Задовільний
4a ph	45,87735	30,73483	Мідія	7,05	0,71	Добрий
Філофорне поле Зернова, липень 2017 р.						
10ph	45,83293	31,0103	Мідія	1,22	0,12	Дуже добрий
9ph	45,66683	31,24977	Мідія	22,8	2,28	Задовільний
4ph	45,50698	30, 50377	Мідія	4,4	0,44	Добрий
Філофорне поле Зернова, серпень 2017 р.						
4ph	45,50142	30,49685	Мідія	17,7	1,77	Задовільний
10ph	45,83177	31,01587	Мідія	1,67	0,17	Дуже добрий
11ph	46,0006	31,24923	Мідія	3,32	0,33	Добрий
Водні об'єкти, серпень 2017 р.						
2w	45,83235	30,2987	Рапана	0	0	Дуже добрий
2w	45,83235	30,2987	Хамелія	0	0	Дуже добрий
3w	45,60013	29,78452	Рапана	0	0	Дуже добрий
5w	46,2254	31,6065	Мідія	6,21	0,62	Добрий
5w	46,2254	31,6065	Рапана	0	0	Дуже добрий
6w	46,59593	31,08635	Мідія	0	0	Дуже добрий
7w	46,53635	30,77958	Мідія	0	0	Дуже добрий
Район острова Зміїний, червень 2017 р.						
	45,2551	30,2078	Рапана, 3 роки	0	0	Дуже добрий
	45,2551	30,2078	Рапана, 4 роки	0	0	Дуже добрий
	45,2551	30,2078	Рапана, 6 р.	0	0	Дуже добрий
	45,2551	30,2078	Мідія, 3 роки	30,2	3,02	Задовільний
	45,2551	30,2078	Мідія, 6 років	0	0	Дуже добрий
	45,2551	30,2078	Ставрида зв.	0	0	Дуже добрий
	45,2551	30,2078	Бичок чорний	0	0	Дуже добрий
	45,2551	30,2078	Мерланг	0	0	Дуже добрий

Таблиця 8

Стан морської води та донних відкладів за вмістом ПХБ та ГХБ у в деяких районах північно-західної частини Чорного моря

Експедиція	Морська вода		Донні відклади	
	K_3 заг	Екологічний стан	K_3 заг	Екологічний стан
Філофорне поле Зернова, квітень	0,18	Дуже добрий	6,70	Поганий
Філофорне поле Зернова, липень	0,25	Дуже добрий	1,23	Задовільний
Філофорне поле Зернова, серпень	0,09	Дуже добрий	3,82	Задовільний
Водні об'єкти, серпень	0,33	Дуже добрий	5,94	Поганий
IOSS-GE-UA, Ukr. part, серпень	0,58	Добрий	4,05	Задовільний
Дунайський регіон, серпень	0,08	Дуже добрий	1,13	Задовільний
Дунайський регіон, листопад	0,28	Дуже добрий	0,65	Добрий
Острів Зміїний, квітень	1,60	Задовільний	-	-
Острів Зміїний, червень	0,29	Дуже добрий	0,97	Добрий

Таблиця 9

Стан морської біоти за вмістом ПХБ та ГХБ у в деяких районах північно-західної частини Чорного моря

Станція	Вид біоти	K_3 заг	Екологічний стан
Філофорне поле Зернова (квітень)			
4ph	Мідії	2,76	Задовільний
4a ph	Мідії	0,74	Добрий
Філофорне поле Зернова (липень)			
10ph	Мідії	0,35	Добрий
9ph	Мідії	1,79	Задовільний
4ph	Мідії	0,92	Добрий
Філофорне поле Зернова (серпень)			
4ph	Мідії	0,96	Добрий
10ph	Мідії	0,12	Дуже добрий
11ph	Мідії	0,19	Дуже добрий
Водні об'єкти (серпень)			
2w	Рапана	0,34	Добрий
2w	Хамелія	0,13	Дуже добрий
3w	Рапана	1,54	Задовільний
5w	Мідія	0,44	Добрий
5w	Рапана	1,94	Задовільний
6w	Мідія	0,47	Добрий
7w	Мідія	0,24	Добрий
Острів Зміїний (червень)			
	Рапана віком 3 роки	0,25	Добрий
	Рапана віком 4 роки	2,39	Задовільний
	Рапана віком 6 років	0	Дуже добрий
	Мідія віком 3 роки	1,64	Задовільний
	Мідія віком 6 років	0,07	Дуже добрий
	Ставрида звичайна	1,20	Задовільний
	Бичок чорний	0,27	Добрий
	Мерланг	0	Дуже добрий

Висновки

Стан морської води у більшості випадків класифікується як «дуже добрий», а стан морської біоти у більшості випадків відповідає класам якості «добрий» та «дуже добрий», проте варто відмітити, що в Україні не встановлено чітких нормативів, які б регулювали вміст ПХБ та ГХБ у морській біоті, зокрема – у тих видах морських організмів, які мають промислове значення, а тому доцільно встановлення відповідного нормативу в Україні на законодавчому рівні.

Стан донних відкладів, в основному, класифікується як «задовільний» та «поганий», що свідчить про те, що морське середовище завдавалося довготривалому регулярному забрудненню ПХБ та ГХБ, які іммобілізувались у донних відкладах і за відповідних

природних умов можуть стати джерелом вторинного забруднення морської води та біоти. Це вказує на необхідність проведення регулярного моніторингу стану морського середовища північно-західної частини Чорного моря на предмет забруднення ПХБ та ГХБ.

Для повної оцінки забруднення морського середовища стійкими органічними поллютантами необхідно забезпечити можливість аналізу вмісту поліхлорованих дибензо-п-діоксинів, дибензофуранів та діоксиподібних ПХБ, які є найтоксичнішими з усього класу СОП, та врахування яких може суттєво змінити результати оцінки стану якості морського середовища північно-західної частини Чорного моря.

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.

Література

1. ДСТУ 3041–95. Гідросфера. Використання і охорона води. Київ: Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 1995. 44 с.
2. Янин Е. П. Полихлорированные бифенилы в окружающей среде (эколого-гигиенические аспекты). М.: Изд-во «Диалог-МГУ», 1997. 35 с.
3. Vijaya Bhaskar Reddy A., Moniruzzaman M. Polychlorinated biphenyls (PCBs) in the environment: Recent updates on sampling, pretreatment, cleanup technologies and their analysis. *Chemical Engineering Journal*. Vol. 358. 15 February 2019. P. 118-120. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.09.205>
4. Ровинский Ф. Я., Афансьев М. И., Вулых Н. К., Згарузина А. Н. Фоновое содержание хлорорганических пестицидов, полихлорбифенилов и полициклических ароматических углеводородов в природных средах (по мировым данным). *Мониторинг фонового загрязнения природных сред*. Вып. 4. Л.: Гидрометеиздат, 1987. С. 51-81.
5. Герлах С. А. Загрязнение морей. Диагноз и терапия. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 263 с.
6. Иванова Е. А., Соколова Н. Р., Марьев В. А., Никифоров М. П. Об утилизации ПХБ в рамках выполнения стокгольмской конвенции о СОЗ в Российской Федерации. *Вестник «ЮНИДО в России»*. 2020. №15. URL: <http://www.unido-russia.ru/archive/> (дата звернення: 18.04.2020).
7. Денисенко І. Ю.. Стійкий органічний забруднювач: проблеми поводження та перспективи їх вирішення. URL: <http://eztuir.ztu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/308/1/69.pdf> (дата звернення: 20.04.2020).
8. Михайленко В. І., Сафранов Т. А., Шаніна Т. П. Аналіз ситуації зі стійкими органічними забруднювальними речовинами в Україні (на прикладі Одеси). *Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна Серія «Екологія»*. 2018. Вип.18. С. 90-96. URL: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2018-18-09>
9. Михайленко В. І., Шаніна Т. П., Сафранов Т. А. Основні джерела ненавмисного утворення стійких органічних забруднюючих речовин (на прикладі міста Одеса). *Український гідрометеорологічний журнал*. 2018. Вип. 21. С. 110-119. URL: <https://doi.org/10.31481/uhmj.21.2018.11>
10. Токсини ПХБ в продуктах питания. Профилекторий Subscribe.ru. URL: <http://goo.gl/d3QjCb/> (дата звернення: 15.05.2020).
11. Commission Regulation (EU) No. 1259/2011 amending Regulation (EC) No. 1881/2006 as regards maximum levels for dioxins, dioxin-like PCBs and non dioxin-like PCBs in foodstuffs. *Official Journal of the European Union*. 2011. P. 18-23. URL: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/eur108087.pdf>

References

1. State Committee of Ukraine for Technical Regulation and Consumer Policy (1995). DSTU 3041-95: Hydrosfera. State standards of Ukraine 3041-95: Hydrosphere. Using and protection of water. Kyiv. (In Ukraine).
2. Yanin, E.P. (1997). Polychlorinated biphenyls in the environment (ecological and hygienic aspects). M.: Publ. «Dialog-MHU». (In Russian).
3. Vijaya Bhaskar Reddy, A. & Moniruzzaman, M. (2019). Polychlorinated biphenyls (PCBs) in the environment: Recent updates on sampling, pretreatment, cleanup technologies and their analysis. *Chemical Engineering Journal*, 358, 15 February, 118-120. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.09.205>
4. Rovinsky, F.Ya., Afansiev, M.I., Vulykh, N.K. & Zgaruzina, A.N. (1987). Background content of organochlorine pesticides, polychlorinated biphenyls and polycyclic aromatic hydrocarbons in natural environments (according to world data). *Monitoring of background pollution of natural environments*, 4. Leningrad: Gidrometeoizdat, 51-81 (In Russian).
5. Gerlach, S.A. (1985). Pollution of the seas. Diagnosis and therapy. L.: Gidrometeoizdat. (In Russian).
6. Ivanova, E.A., Sokolova, N.R., Maryev, V.A. & Nikiforov, M.P. (2020). On the disposal of PCBs as part of the implementation of the Stockholm Convention on POPs in the Russian Federation. *Bulletin of UNIDO in Russia*. (15). Retrieved May, 17, 2020 from <http://www.unido-russia.ru/archive/> (In Russian).
7. Denisenko, I.Yu. (2020). Persistent organic pollutants: problems and prospects of the future. Retrieved May, 17, 2020 from <http://eztuir.ztu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/308/1/69.pdf> (In Russian).

8. Mykhailenko, V.I., Safranov, T.A. & Shanina, T.P. (2018). An analysis of the situation of persistent organic pollutants in Ukraine (by the example of Odessa). *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University Series «Ecology»*, (18), 90-96. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2018-18-09> (In Ukraine).
9. Mykhailenko, V.I., Shanina, T.P. & Safranov, T.A. (2018). Main sources of unintentional production of Persistent Organic Pollutants (the case of Odesa). *Ukraine Hydrometeorology Journal*, (21), 110-119. <https://doi.org/10.31481/uhmj.21.2018.11> (In Ukraine).
10. Toxins in Foods. (2013). Retrieved from <http://goo.gl/d3QjCb/> (accessed 17 May 2020). (In Russian).
11. Commission Regulation (EU) No. 1259/2011 amending Regulation (EC) No. 1881/2006 as regards maximum levels for dioxins, dioxin-like PCBs and non dioxin-like PCBs in foodstuffs. (2011). *Official Journal of the European Union*, 18-23. Retrieved from <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/eur108087.pdf>

Надійшла: 22.06.2020

Прийнята: 20.10.2020

УДК (UDC): 911.2+502.57(076)

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-23-02>

М. В. БОЯРИН¹, канд. геогр. наук, доц., **В. У. ВОЛОШИН¹**, канд. техн. наук, доц.,
О. О. ЦЬОСЬ¹

¹Волинський національний університет імені Лесі Українки
пр. Волі 13, м. Луцьк, 35000, Україна

e-mail: mariasun140314@gmail.com
vol.lutsk@gmail.com
oksana.tsos1972@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9822-5897>
<http://orcid.org/0000-0002-6586-2045>
<http://orcid.org/0000-0002-9679-9413>

ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН РІЧКИ САПАЛАЙВКА В УМОВАХ УРБОСИСТЕМИ М. ЛУЦЬК

Мета. Визначення основних чинників антропогенного впливу урбосистеми міста Луцьк на річковий басейн річки Сапалаївка та оцінка екологічного стану річки на основі MIR «Макрофітового індексу річок».

Методи. Порівняльно-географічний, узагальнення, систематизація, статистичні, порівняльно-аналітичний, описовий, картографічний.

Результати. В річці Сапалаївка на обстежених тестових ділянках, виявлено 21 індикаторний вид макрофітів серед яких – 8 рослин належать до дводольних, та 13 рослин належать до однодольних, з використанням яких розраховано значення MIR. Збіднення видового складу макрофітів з 15-16 на тестових ділянках 1 та 2 до 2 видів на тестовій ділянці 3 свідчать про рогіршення екологічного стану річки та появі несприятливих умов для місцезростання макрофітів. На території міста ділянка русла річки Сапалаївка, від початку вулиці Потапова і до гирла переважно каналізована, тут збіднений видовий склад макрофітів та присутній специфічний запах каналізаційних стоків. Частина річки, яка протікає у місті (до початку вул. Потапова), що була ренатуралізована у 2012-2016 роках має багатший видовий склад макрофітів. Поза територією міста басейн річки Сапалаївка перебуває у доброму стані, про що свідчить видовий склад флори та фауни а також інтенсивний розвиток вищої водної рослинності.

Висновки. В результаті розрахованого екологічного індексу макрофітів MIR встановлено, що якість води у річці Сапалаївка на тестовій ділянці № 1, належить до II класу, категорії - добра та за трофічним статусом є мезотрофною; на тестовій ділянці № 2, належить до III класу, категорії - задовільна та за трофічним статусом є евтрофною; на тестовій ділянці № 3, належить до IV класу, категорії – погана та за трофічним статусом є політрофною. Доцільним є проведення подальших природоохоронних заходів, особливо у нижній течії річки, з метою усунення джерел забруднення води, та проведення моніторингу екологічного стану водойми з метою відновлення видового складу макрофітів та здатності до самоочищення.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: макрофіти, екологічний стан, річка Сапалаївка, урбосистема, забруднення поверхневих вод

Boiaryn M. V.¹, Voloshyn V. U.¹, Tsos O. O.¹

Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volia Ave., Lutsk, 35000, Ukraine

ECOLOGICAL CONDITION OF THE SAPALAYIVKA RIVER IN THE CONDITIONS OF LUTSK URBOSYSTEM

Purpose. Determination of the main factors of anthropogenic impact of the urban system of the city of Lutsk on the river basin of the river Sapalaivka and assessment of the ecological condition of the river on the basis of MIR "Macrophytic index of rivers".

Methods. Comparative-geographical, generalization, systematization, statistical, comparative-analytical, descriptive, cartographic.

Results. In the Sapalaivka River, 21 indicator species of macrophytes were found in the surveyed test areas, among which - 8 plants belong to dicotyledons, and 13 plants belong to monocotyledons, using which the

© Боярин М. В., Волошин В. У., Цьось О. О., 2020



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/).

MIR values were calculated. Depletion of macrophyte species composition from 15-16 in test plots 1 and 2 to 2 species in test plot 3 indicates deterioration of the ecological condition of the river and the emergence of unfavorable conditions for macrophyte habitats. On the territory of the city, the section of the Sapalaivka riverbed, from the beginning of Potapova Street to the mouth, is mostly canalized, the species composition of macrophytes is depleted here and there is a specific smell of sewage. The part of the river that flows in the city (before Potapova Street), which was renaturalized in 2012-2016, has a richer species composition of macrophytes. Outside the city, the Sarpalaivka river basin is in good condition, as evidenced by the species composition of flora and fauna, as well as the intensive development of higher aquatic vegetation.

Conclusion. As a result of the calculated ecological index of macrophytes MIR it is established that the water quality in the river Sapalaivka on the test site № 1, belongs to the II class, category - good and by trophic status is mesotrophic; on the test site № 2, belongs to the III class, category - satisfactory and eutrophic in trophic status; on the test site № 3, belongs to class IV, category - poor and trophic status is polytrophic. It is advisable to carry out further environmental measures, especially in the lower reaches of the river, in order to eliminate sources of water pollution, and to monitor the ecological status of the reservoir in order to restore the species composition of macrophytes and the ability to self-clean.

KEY WORDS: macrophytes, ecological status, Sapalaivka river, urban system, surface water pollution

Боярин М. В.¹, Волошин В. У.¹, Цёсь О. А.¹

¹Волынский национальный университет имени Леси Украинки, пр. Воли 13, г. Луцк, 3500 Украина

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ РЕЧКИ САПАЛАЕВКА В УСЛОВИЯХ УРБОСИСТЕМЫ ГОРОДА ЛУЦК

Цель. Определение основных факторов антропогенного влияния урбосистемы города Луцк на речной бассейн речки Сапалаевка, и оценка экологического состояния речки на основании MIR «Макрофитового индекса рек»

Методы. Сравнительно-географический, обобщения, статистический, аналитический, картографический.

Результаты. На исследованных участках речки Сапалаевка определено 21 индикаторный вид макрофитов, среди которых – 8 растений принадлежат к односемянным, 13 растений принадлежат к двудольным, с использованием которых рассчитано значение MIR. Обеднение видового состава макрофитов с 15-16 на тестовых участках 1 и 2 до 2 видов на тестовом участке 3 свидетельствует об ухудшении экологического состояния реки а также проявлении неблагоприятных условий для роста и развития макрофитов. На территории города часть русла речки Сапалаевка, от начала улицы Потапова и до поймы преимущественно канализирована, тут обеднённый видовой состав макрофитов и присутствует специфический запах коммунальных стоков. Часть реки, что течет по территории города (до начала улицы Потапова), что была ренатурализирована в 2012-2016 гг. имеет более богатый видовой состав макрофитов. Вне черты города бассейн речки Сапалаевка находится в зором состоянии, о чём свидетельствует видовой состав флоры и фауны, а также более интенсивное развитие высшей водной растительности.

Выводы. В результате определённого экологического индекса макрофитов MIR установлено, что качество воды в речке Сапалаевка на тестовом участке № 1 принадлежит ко II классу, категории – хорошая, за трофическим статусом – мезотрофная; на тестовом участке № 2 принадлежит ко III классу, категории – удовлетворительная, за трофическим статусом – эвтрофная; на тестовом участке № 3 принадлежит ко IV классу, категории – плохая, за трофическим статусом – политрофная. Целесообразным есть проведение дальнейших природоохранных действий, особенно в нижнем течении реки, с целью устранения источников загрязнения воды, проведения мониторинга экологического состояния реки для возобновления видового состава макрофитов и способности к самоочистке.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: макрофиты, экологическое состояние, река Сапалаевка, урбосистема, загрязнение поверхностных вод

Вступ

Місто Луцьк є обласним центром Волинської області та має свою древню історію. Місто стоїть на берегах річки Стир, але окрім того тут протікають 3 маленькі річки – притоки : Сапалаївка, Жидувка та Чорногузка [1, 3].

Річка Сапалаївка – права притока р. Стир, загальна довжина 11,5 км, в межах земель Луцької міської ради – 8,3 км. Пло-

ща прибережної захисної смуги в межах міста 32,37 га, водоохоронної зони – 55,43 га [1]. Річка протікає в густозаселених районах, як багатоповерхової, так і приватної забудови, а також межує з територіями багатьох підприємств, установ та організацій, у її басейні розташовано три рекреаційні зони – Теремнівські ставки, парк культури і відпочинку ім.900-річчя м.Луцька та Луцька

дитяча залізниця, яка перебуває у занедбаному стані. Громадська та житлова забудова щільно межує з водоохоронною зоною річки в окремих місцях обмежуючи її до 3-5 м., що не відповідає чинному законодавству [3, 4, 5]. Стік малої річки значно зарегульований – частина нижньої течії річки каналізована, окрім мостів, у середній течії річки є інші гідротехнічні споруди, створено Теремнівські ставки площею 3,5 га., та штучну водойму у парку 900-річчя Луцька площею 1,150 га. Щорічно русло річки потерпає від засмічення та захаращення як побутовими відходами, так і частинами деревних насаджень які утворилися в результаті руйнування дерев висаджених у 70-80 рр. минулого століття з метою берегоукріплення [5, 17]. Отже увесь цей комплекс негативного антропогенного впливу сприяє втраті здатності річки до самоочищення.

Попри усі намагання міської ради та впровадження низки цільових програм, що стосуються покращення екологічного стану річки Сапалаївка у межах міста, протягом 2010-2020 рр. ситуація практично не змінюється [1, 2, 3, 4]. Так у 2011 р. проведено комплекс робіт з розчищення русла р.Сапалаївка від мулу, у 2012 році ПАТ «Інститутом «Волиньводпроект» розроблено робочий проект «Відновлення гідрологі-

чного режиму, санітарного стану та очищення від дерев русла р. Сапалаївка від вул. Ніла Хасевича до вул. Потапова з метою захисту від підтоплення громадської та житлової забудови (капітальний ремонт русла)», який впроваджено у 2012-2016 рр. Протягом 2017-2020рр. щорічно виділялися кошти з обласного та міського бюджетів на відновлення гідрологічного режиму річки, також щорічно, у весняний та осінній період, міською радою та громадськими організаціями організовуються толоки по розчищенню русла та узбережжя річки від побутового сміття [1, 5]. Проте, екологічний стан річки, у межах міста, залишається вкрай незадовільним, оскільки мають місце: засмічення побутовим сміттям прибережних територій, потрапляння стоків дощових вод з прилеглих територій у русло річки, наявні незаконно виведені труби господарсько побутових стоків, що унеможливають процеси природного самоочищення річки навіть з допомогою щорічних природоохоронних заходів, тому дослідження є актуальним.

Мета – визначення основних чинників антропогенного впливу урбосистеми міста Луцьк на річковий басейн Сапалаївки та оцінка екологічного стану річки на основі MIR «Макрофітового індексу річок».

Матеріали та методи досліджень

На території міста ділянка русла річки Сапалаївка, від початку вулиці Потапова і до гирла переважно каналізована, тут збіднений видовий склад макрофітів та присутній специфічний запах каналізаційних стоків. Частина річки, яка протікає у місті, та була ренатуралізована у 2012-2016 роках знаходиться у задовільному стані та має багатший видовий склад макрофітів [1, 5]. Поза територією міста басейн річки Сапалаївка перебуває у доброму стані, про що свідчить видовий склад флори та фауни а також інтенсивний розвиток вищої водної рослинності. Отже, стан вищої водної рослинності нами був обраний, як індикатор екологічного стану водойми в цілому, та було використано відповідну методику.

Макрофіти дозволяють визначити ступінь деградації поверхневих вод, перш за все, з погляду їх трофності. Методи хімічні та фізичні (інструментальні) оцінки

якості поверхневих вод дозволяють одно-моментно визначити забруднення під час дослідження у період відбору проби. В той час як біологічні методи дослідження дозволяють визначити вплив забрудників в довготерміновій перспективі. Водні організми піддаються впливу водного середовища, завдяки чому ми можемо визначити їх вразливість до вмісту забруднюючих речовин у воді [6, 12].

Метод оцінки екологічного стану річок спирається на дослідження у Європейських країнах. У Великобританії повсюдно розповсюджена методика Mean Trophic Rank (MTR), у якій представлено 128 видів серед яких головними є вищі рослини, а меншій кількості представлені мохи та водорості. Ця методика використовується у багатьох Європейських країнах (Польща, Іспанія, Чехія та ін.). Методика (MTR) уже багато років застосовується під час науко-

вих досліджень, а з 2008 року під час моніторингу макрофітів у Великобританії та Франції [13, 14, 15].

В Україні теж проводяться дослідження (згідно методики визначення «Макрофітового індексу річок» MIR) та обґрунтовано можливість використання спільнот водних макрофітів для оцінки екологічного стану річок лісостепової та степової фізико-географічних зон України. За період 2016 – 2019 років за цією ж методикою, було проведено натурні дослідження та визначено екологічний стан річок Турія, Луга, Вижівка та Цир, тривають дослідження екологічного стану озер Пісочне, Велике Згоронське, Мале Згоранське, Озерце на території Волинської області [7, 8, 9, 10, 11].

Макрофітовий індекс річок **MIR**, обчислюється за формулою [13]:

$$\text{MIR} = \sum (L_i \times W_i \times P_i) / \sum (W_i \times P_i) \times 10^*$$

де: MIR - Макрофітовий індекс річок,
L_i - кількісне значення показника для вказаного виду,

W_i - ваговий коефіцієнт для виду i,

P_i – коефіцієнт покриття вказаного виду, у 9 – ти ступеневій шкалі.

Показник MIR може бути обчислений у межах від 10 (найбільше деградовані річки) до 100 (найменш деградовані річки). У випадку низинних річок найвищий показник MIR не може перевищувати 60. Під час проведення обчислення використано-ується 151 індикаторний вид макрофітів [13].

Граничні значення індексу MIR для 5 класів екологічного стану для кожного макрофітового типу річок розроблено згідно ВРД ЄС [13, 16].

Для визначення екологічного стану річки використано методи – картографічний, науково-історичний, порівняльно-географічний, узагальнення та систематизації.

Результати та обговорення

Екологічні та геоботанічні дослідження у басейні річки Сапалаївка виконано протягом травня-вересня 2020 року, що дало можливість оцінити екологічний стан басейну річки за «Макро-фітовим індексом річки» (MIR). Для обчислення MIR використана класифікаційна таблиця для 4 типів річок, згідно якої виділяють 5 екологічних станів річки – дуже добрий, добрий, задовільний, поганий, дуже поганий [13, 15].

Під час натурних досліджень, відібрано проби рослин на 3 тестових ділянках, що приблизно рівномірно розташовані по течії річки Сапалаївка: тестова ділянка № 1 с. Струмівка (верхня течія), тестова ділянка № 2 м. Луцьк (Парк 900- річчя міста), тестова ділянка № 3 м.Луцьк (вул. Ярошука, міст - нижня течія).

В річці Сапалаївка на обстежених згідно Методики [13] ділянках, виявлено 21 індикаторний вид макрофітів серед яких – 8 рослин належать до дводольних, та 13 рослин належать до однодольних. Видове різноманіття макрофітів та їх присутність на тестових ділянках відображено у таблиці 1.

На тестовій ділянці № 1 с. Струмівка (верхня течія), виявлено 15 видів макрофітів – індикаторів екологічного стану. Серед них найбільше прибережних рослин – 13 видів з переважанням Лепешняка великого (*Glyceria maxima* (C. Hartm.), Осоки побережної (*Carex riparia* Curtis) та Рогозу широколистого (*Tupha latifolia* L.), також присутні

2 види рослин з плаваючим листям: Водяний жовтець закручений (*Batrachium circinatum* Spach), Гірчак земноводний (*Polygonum amphibium* L.).

На тестовій ділянці № 2 м. Луцьк (Парк 900- річчя міста), виявлено 16 видів макрофітів – індикаторів екологічного стану. Тут представлені 2 екологічні групи рослин – 12 видів прибережних, з переважанням Очерету звичайного (*Phragmites australis* (Cav.), Лепешняка великого (*Glyceria maxima* (C. Hartm.), Осоки побережної (*Carex riparia* Curtis), Рогозу широколистого (*Tupha latifolia* L.), та 3 види рослин з плаваючим листям – Гірчак земноводний (*Polygonum amphibium* L.), Рдесник плаваючий (*Potamogeton natans* L.), Водяний жовтець закручений (*Batrachium circinatum* Spach) та 1 вид занурених рослин – Рдесник кучерявий (*Potamogeton crispus* L.).

На тестовій ділянці № 3 м. Луцьк вул. Ярошука (нижня течія), виявлено 2 види макрофітів – індикаторів екологічного стану. Тут є ділянки дна які суцільно вкриті монотипною зануреною рослинністю – Рдесником гребінчастим (*Potamogeton pectinatus* L.) та прибержні полоси Рогозу широколистого (*Tupha latifolia* L.).

У верхній та середній течії річки повсюдно зустрічаються М'ята водяна (*Mentha aquatica* L.), Незабудка болотна (*Myosotis palustris* (L.) L.), Вербозілля звичайне (*Lysimachia vulgaris* L.), Берула пряма (*Siella*

Таблиця 1

Види макрофітів річки Сапалаївка

№	Назва виду	Група рослин	Тест-ділянка 1 с. Струмівка (верхня течія)	Тестова ділянка 2 м. Луцьк (парк 900-річчя міста, середня течія)	Тестова ділянка 3 м. Луцьк (вул. Ярощука, нижня течія)
<i>MAGNOLIOPHYTA</i>					
<i>Liliopsida (Monocotyledones) Cyperaceae Juss</i>					
1	<i>Carex acutiformis</i> Ehrh. Осока гостровидна	Прибережні рослини	+	+	-
2.	<i>Carex riparia</i> Curtis Осока побережна	Прибережні рослини	+	+	-
3.	<i>Carex pseudocyperus</i> L. Осока несправжньосмиканцева	Прибережні рослини	+	-	-
4.	<i>Scirpus sylvaticus</i> L. Комш лісовий	Прибережні рослини	+	-	-
5.	<i>Eleocharis palustris</i> L. Ситняг болотний	Прибережні рослини	+	-	-
6.	<i>Eleocharis acicularis</i> (L.) Ситняг голчастий	Прибережні рослини	-	+	-
<i>Poaceae Barnhart (Gramineae Juss)</i>					
7.	<i>Glyceria maxima</i> (C. Hartm.) Лепешняк великий	Прибережні рослини	+	+	-
8.	<i>Phalaroides arundinacea</i> (L.) Очеретянка звичайна	Прибережні рослини	+	+	-
9.	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Очерет звичайний	Прибережні рослини	-	+	-
<i>Polygonaceae R. Br.</i>					
10.	<i>Polygonum amphibium</i> L. Гірчак земноводний	Рослини з плаваючим листям	-	+	-
<i>Potamogetonaceae Dumort.</i>					
11.	<i>Potamogeton crispus</i> L. Рдесник кучерявий	Занурені рослини	-	+	-
12.	<i>Potamogeton natans</i> L. Рдесник плаваючий	Рослини з плаваючим листям	-	+	-
13.	<i>Potamogeton pectinatus</i> L. Рдесник гребінчастий	Занурені рослини	-	-	+
<i>Typhaceae Juss.</i>					
14.	<i>Typha latifolia</i> L. Рогіз широколистий	Прибережні рослини	+	+	+
<i>Magnoliopsida (Dicotyledones) Caryophyllaceae</i>					
15.	<i>Lychnis flos-siculi</i> L. Коронарія зозуляча	Прибережні рослини	+	-	-
<i>Ranunculaceae Juss</i>					
16.	<i>Batrachium circinatum</i> Spach Водяний жовтець закручений	Рослини з плаваючим листям	+	+	-
<i>Apiaceae Lindl.</i>					
17.	<i>Siella erecta</i> (Huds.) M.Pimen Берула пряма	Прибережні рослини	+	+	-
<i>Primulaceae</i>					
18.	<i>Lysimachia vulgaris</i> L. Вербозілля звичайне	Прибережні рослини	+	+	-
<i>Boraginaceae Juss</i>					
19.	<i>Myosotis palustris</i> (L.) L. Незабудка болотна	Прибережні рослини	+	+	-
<i>Lamiaceae Lindl. (Labiatae Juss)</i>					
20.	<i>Mentha aquatica</i> L. М'ята водяна	Прибережні рослини	+	+	-
21.	<i>Lycopus eugoraeus</i> L. Вовконіг європейський	Прибережні рослини	-	+	-

erecta (Huds.) M.Pimen), Водяний жовтець закручений (*Batrachium circinatum* Spach), Очеретянка звичайна (*Phalaroides arundinacea* (L.) Rausch.), Лепешняк великий (*Glyceria maxima* (C. Hartm.)), Осока бережна (*Carex riparia* Curtis), Осока гостровидна (*Carex acutiformis* Ehrh.). Єдиний вид макрофітів який зустрічається повсюдно у

руслі річки Сапалаївка – Рогіз широколистий (*Tupha latifolia* L.) (табл.2).

Збіднення видового складу макрофітів з 15-16 на тестових ділянках 1 та 2 до 2 видів на тестовій ділянці 3 свідчать про рогіршення екологічного стану річки та появи несприятливих умов для місцезростання макрофітів.

Таблиця 2

Індикаторні види макрофітів для розрахунку MIR у басейні річки Сапалаївка [6, 13]

Рослина Plant	MIR MTR		Рослина Plant	MIR MTR		Рослина Plant	MIR MTR	
	L	W		L	W		L	W
Дводольні			<i>Lychnis flos-cuculi</i> L. Коронарія зозуляча	3	2	<i>Phalaroides arundinacea</i> (L.) Rausch.	2	1
<i>Polygonum amphibium</i> L.	4	1	Однодольні			<i>Phragmites australis</i> (Cav.)	3	1
<i>Batrachium circinatum</i> Spach	4	2	<i>Carex riparia</i> Curtis	4	2	<i>Potamogeton crispus</i> L.	4	2
<i>Siella erecta</i> (Huds.) M.Pimen	4	1	<i>Carex pseudocyperus</i> L.	5	1	<i>Potamogeton natans</i> L.	4	1
<i>Lysimachia vulgaris</i> L.	4	1	<i>Scirpus sylvaticus</i> L.	4	1	<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	1	1
<i>Myosotis palustris</i> (L.) L.	4	1	<i>Eleocharis palustris</i> L.	6	2	<i>Tupha latifolia</i> L.	2	2
<i>Mentha aquatica</i> L.	5	1	<i>Eleocharis acicularis</i> (L.)	6	1	<i>Carex acutiformis</i> Ehrh.	4	1
<i>Lycopus europaeus</i> L.	3	1	<i>Glyceria maxima</i> (C. Hartm.)	3	1			

У результаті розрахованого згідно формули Макрофітового індексу річок [13] визначено, що індекс становить:

$$MIR(\text{тестова ділянка № 1}) = \sum (L_i \times W_i \times P_i) / \sum (W_i \times P_i) \times 10 = 36,2$$

$$MIR(\text{тестова ділянка № 2}) = \sum (L_i \times W_i \times P_i) / \sum (W_i \times P_i) \times 10 = 27,1$$

$$MIR(\text{тестова ділянка № 3}) = \sum (L_i \times W_i \times P_i) / \sum (W_i \times P_i) \times 10 = 19,6$$

Згідно класифікації показника MIR [13] для визначення екологічного стану річки Сапалаївка належить до водотоків низинних, з

типом макрофітів – М-VIII (річки органічні). За розрахованого екологічного індексу макрофітів MIR встановлено (табл 3, рис 1.), що якість води у річці Сапалаївка на тестовій ділянці № 1, належить до II класу, категорії – добра та за трофічним статусом є мезотрофною; на тестовій ділянці № 2, належить до III класу, категорії – задовільна та за трофічним статусом є евтрофною; на тестовій ділянці № 3, належить до IV класу, категорії – погана та за трофічним статусом є політрофною.

Таблиця 3

Оцінка екологічного стану басейну річки Сапалаївка за макрофітами

№	Тестові ділянки	MIR	Клас (категорія)	Назва категорії	Трофічний статус
1	с. Струмівка (верхня течія)	36,2	II	Добрий	Мезотрофний
2	м. Луцьк, парк 900 річчя (середня течія)	27,1	III	Задовільний або помірний	Евтрофний
3	м. Луцьк, вул. Ярошука (нижня течія)	19,6	IV	Поганий	Політрофний



Рис 1 – Екологічний стан річки Сапалаївка за індексом макрофітів MIR

Висновки

В річці Сапалаївка на обстежених тестових ділянках, виявлено 21 індикаторний вид макрофітів серед яких – 8 рослин належать до дводольних, та 13 рослин належать до однодольних, з використанням яких розраховано значення MIR. Збіднення видового складу макрофітів з 15-16 на тестових ділянках 1 та 2 до 2 видів на тестовій ділянці 3 свідчать про рогіршення екологічного стану річки та появі несприятливих умов для місцезростання макрофітів.

Згідно класифікації показника MIR для визначення екологічного стану, річка Сапалаївка належить до водотоків низинних, з типом макрофітів – M-VIII (річки органічні). В результаті обрахованого екологічного індексу макрофітів MIR встановлено,

що якість води у річці Сапалаївка на тестовій ділянці № 1, належить до II класу, категорії – добра, за трофічним статусом є мезотрофною; на тестовій ділянці № 2, належить до III класу, категорії – задовільна, за трофічним статусом є евтрофною; на тестовій ділянці № 3, належить до IV класу, категорії – погана, за трофічним статусом є політрофною.

Одже, доцільним вважаємо проведення подальших природоохоронних заходів, особливо у нижній течії річки, з метою усунення джерел забруднення води, та проведення моніторингу екологічного стану водойми з метою відновлення видового складу макрофітів та здатності до самоочищення

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.

Література

1. Екологічний паспорт м. Луцьк 2019 року. URL: <https://voladm.gov.ua/article/ekologichniy-pasport-mlucka/>
2. Мольчак Я.О., Фесюк В.О., Картава О.Ф. Луцьк: сучасний екологічний стан та проблеми. Луцьк: РВВ ЛДТУ, 2003. 488 с.
3. Мірач П.С., Шах В. М., Кондратюк Г. М. Паспорт річки Сапалаївка. Рівне: Акціонерне товариство інститут „Волиньводпроект”, 1994. 60 с.
4. Забокрицька М. Р., Хільчевський В. К. Водні об'єкти Луцька: гідрографія, локальний моніторинг, водопостачання та водовідведення. *Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія*, 2016. Т.3(42). 63-76 URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge_2016_3_9

5. Боярин М. В., Лавринюк З. В., Музиченко О. С., Савчук Л. А. Аналіз екологічного стану басейну річки Сапалаївка. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. Географічні науки*. 2013, №16. 201-205. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvvnug_2013_16_31
6. Ничая О. О., Мельничук М. М., Тараськ Н. А. Геоекологічна реабілітація річок міста Луцьк (на прикладі р.Сапалаївка). *Стан та перспективи інноваційного розвитку міста Луцька: матеріали II наук.-практ. конф. Луцьк: Східноєвропейський нац. Ун-т ім. Лесі Українки*, 2012. С. 98 -102.
7. Коробкова Г. В. Використання макрофітних індексів для оцінки екологічного стану поверхневих вод України. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*, 2017. № 1-2 (27). 62-70. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ltd_2017_1-2_8
8. Боярин М. В. Нетробчук І. М. Основи гідроекології: теорія й практика. Навчальний посібник. Луцьк: Вежа-Друк, 2016. 364 с. URL: <http://esnuir.eunu.edu.ua/handle/123456789/11832>
9. Ciecierska H., Dynowska M. Biologiczne metody oceny stanu srodowiska. Tom 2. Ekosystemy wodne. Podrecznik metodyczny. Olsztyn, 2013. 312 с. URL: <https://docplayer.pl/1480006-Podrecznik-metodyczny.html>
10. AFNOR (Assosiation Francaise de Normalisation) Qualite de l'eau – Determination de l'indice biologique macropytique en rivier (IBMR) – Norm francaise NFT . 2003. P. 90 – 395.
11. Szoszkiewicz K., Karolewicz K., Lawniczak A., Dawson F. An Assessment of the MTR Aquatic Plant Bioindication System for Determining the Trophic Status of Polish Rivers. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2002. Vol. 11. № 4. P. 421-427. URL: https://www.researchgate.net/publication/239752359_An_Assessment_of_the_MTR_Aquatic_Plant_Bioindication_System_for_Determining_the_Trophic_Status_of_Polish_Rivers
12. Цюсю О. О. Екологічна оцінка якості поверхневих вод річки Турія. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій*, 2015. №12. С. 69 – 74.
13. Цюсю О. О. Індикаційна флора річки Турія. *Вісник Харківського університету імені В. Н. Каразіна. Серія Екологія*. 2016. № 14. С. 71-77. URL: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2018-30-08>
14. Цюсю О. О. Екологічна оцінка якості поверхневих вод річки Цир за категоріями. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2017. № 1-2 (27). С. 71-76. URL: http://journals.urau.ua/ludina_dov/article/view/109860/104889
15. Цюсю О. О., Музиченко О. С., Боярин М. В. Структурний аналіз вищих водних та прибережно-водних рослин річки Виживка. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*, 2018. № 30. С. 104-111. URL: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2018-30-08>
16. Boiaryn M., Tsos O. Ocena stanu ekologicznego powierzchniowych wód rzeki Turia na podstawie makrofitowego indeksu rzecznoego (MIR). *Chemia. Environment. Biotechnology*. 2019. Vol. 22. P. 7-12. URL:<http://dx.doi.org/10.16926/cebj.2019.22.01>
17. EU Water Framework Directive 2000/60/EC. Official Journal of the European Communities, 22.12.2000. L 327 / 1. 118 p.URL: https://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index_en.html

References

1. Ecological passport of Lutsk 2019. (2019). Retrieved from <https://voladm.gov.ua/article/ekologichniy-pasport-mlucka/> (In Ukrainian).
2. Molchak, Ya.O., Fesiuk, V.O. & Kartava, O.F. (2003). Lutsk: current ecological condition and problems. Lutsk: RVV LSTU. (In Ukrainian).
3. Mirach, P.S., Shakh, V.M. & Kondratiuk, H.M . (1994). Passport of Sapalaivka river. Rivne: Joint-stock company institute "Volynvodproekt". (In Ukrainian).
4. Zabokrytska, M. R. & Khilchevskyi, V. K. (2016). Lutsk water bodies: hydrography, local monitoring, water supply and drainage. *Hydrology, hydrochemistry, hydroecology*. t.3(42) .63-76. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge_2016_3_9 (In Ukrainian).
5. Boiaryn, M. Lavreniuk, Z., Muzychenko, O. & Savchuk, L. (2013). Analysis of the ecological condition of the Sapalaivka river basin. *Scientific Bulletin of the Lesia Ukrainka East European National University. Geographical sciences*. (16), 201-205. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvvnug_2013_16_31
6. Nychaia, O.O., Melniichuk, M.M. & Tarasiuk N.A. (2012). Geoeological rehabilitation of Lutsk rivers (on the example of Sapalaivka river). *Proceedings of the II scientific-practical. conf. : State and Prospects of Innovative Development of the City of Lutsk*. Lutsk: Eastern European Nation. Univ. Lesya Ukrainka, 98 -102. (In Ukrainian).
7. Korobkova, H.V. (2017). Use of macrophytic indices to assess the ecological status of surface waters of Ukraine. *Man and environment. Problems of Neoeology*, (1-2 (27)), 62-70. (In Ukrainian).
8. Boiaryn, M.V. & Netrobchuk, I.M. (2016). Fundamentals of hydroecology: theory and practice. Tutorial. Lutsk: Vezha-Druk. Retrieved from <http://esnuir.eunu.edu.ua/handle/123456789/11832> (In Ukrainian).

9. Ciecierska, H. & Maria Dynowska, M. (2013). Biological methods of assessing the state of the environment. Volume 2. Water ecosystems. Methodical handbook. Olsztyn. Retrieved from <https://docplayer.pl/1480006-Podrecznik-metodyczny.html> (In Poland).
10. AFNOR (Assosiation Francaise de Normalisation) Qualite de l'eau – Determination de l'indice biologique macropfytique en rivier (IBMR) – Norm francaise NFT (2003). 90 – 395. (In Poland).
11. Szoszkiewicz, K., Karolewicz, K., Lawniczak, A. & Dawson, F. (2002). An Assessment of the MTR Aquatic Plant Bioindication System for Determining the Trophic Status of Polish Rivers. *Polish Journal of Environmental Studies*, 11(4), 421-427. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/239752359_An_Assessment_of_the_MTR_Aquatic_Plant_Bioindication_System_for_Determining_the_Trophic_Status_of_Polish_Rivers
12. Tsos, O.O. (2013). Environmental assessment of surface water quality of the river Turia. *The Nature of Western Polissya and Adjacent Territories*,(1), 69 – 74. (In Ukrainian).
13. Tsos, O.O. (2013). Indication flora of the river Turia. *Visnyk of VN Karazin Kharkiv University Series "Ecology"*, 14, 71-77. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2018-30-08> (In Ukrainian).
14. Tsos, O.O. (2017). Ecological assessment of surface water quality of the Tsyra River by categories. *Man and the environment. Issues of neoecology*, (1-2 (27)), 71-76. Retrieved from <https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/article/view/9172> (In Ukrainian).
15. Tsos, O.O., Muzychenko, O.O. & Boiaryn M.V. (2018). Structural analysis of higher aquatic and coastal aquatic plants of the Vyzhivka river. *Man and the environment. Problems of neoecology*, (30), 104-111. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2018-30-08> (In Ukrainian).
16. Boiaryn, M. & Tsos, O. (2019). Assessment of the ecological status of the Turia River surface waters on the basis of the River Macrophyte Index (MIR). *Chemia. Environment. Biotechnology*, 22, 7-12. <http://dx.doi.org/10.16926/cebj.2019.22.01> (In Poland).
17. EU Water Framework Directive 2000/60/EC. Official Journal of the European Communities, 22.12.2000. L 327 / 1. Retrieved from https://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index_en.html (In Holland).

Надійшла: 02.09.2020

Прийнято: 20.11.2020

УДК (UDC): 911.375.5:332.362 (477.84)

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-23-03>

Л. П. ЦАРИК¹, д-р геогр. наук, проф., І. Р. КУЗИК¹

¹Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, м. Тернопіль, Україна, 46027

e-mail: tsaryk155@gmail.com
prikol_3339@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0944-1905>
<https://orcid.org/0000-0002-4491-1071>

ГЕОЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА СТРУКТУРИ ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ ТЕРНОПІЛЬСЬКОЇ МІСЬКОЇ ОБ'ЄДНОАНОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ

Мета. Оцінити структуру землекористування Тернопільської міської об'єднаної територіальної громади та обґрунтувати пріоритетні напрямки її оптимізації.

Методи. Описовий, порівняльно-географічний, геоінформаційний, статистичний, математичний, геоecологічний аналіз та оптимізаційне моделювання. Також, під час дослідження використано спеціальні методи для визначення антропогенного навантаження, коефіцієнтів екологічної стабільності та антропогенної трансформації території Тернопільської міської об'єднаної територіальної громади.

Результати. Проаналізувавши структуру землекористування Тернопільської міської об'єднаної територіальної громади, встановлено, що частка природних угідь в її межах складає лише 32,5%. Основними геоecологічними проблемами землекористування Тернопільської міської громади є розбалансованість структури земельних угідь, відсутність генеральних планів сільських населених пунктів і територіальних меж, не проведена інвентаризація та нормативно грошова оцінка земель. Коефіцієнт антропогенної перетвореності території Тернопільської територіальної громади становить 6,7, що відповідає категорії сильно перетворених ландшафтів. Коефіцієнт екологічної стабільності складає 0,28, територія характеризується як екологічно не стабільна із балом антропогенного навантаження 3,22. Проведена геоecологічна оцінка структури землекористування території Тернопільської міської об'єднаної територіальної громади, засвідчила необхідність оптимізації структури земельних угідь та впровадження ефективних науково обґрунтованих заходів.

Висновки. Для виправлення і покращання ситуації, приведення території Тернопільської міської територіальної громади до екологічної стабільності, необхідно реалізувати ряд оптимізаційних заходів. Зокрема, у статті розроблено оптимізаційну модель землекористування Тернопільської міської громади, яка передбачає скорочення орних земель на 18%, збільшення лісистості на 12% та доведення частки природних угідь до оптимального показника 50%. Реалізація такого підходу потребує зміни цільового призначення окремих земельних ділянок та організацію їх ландшафтно-адаптоване використання.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: землекористування, децентралізація, геоecологічна оцінка, антропогенне навантаження, екологічна стабільність

Tsaryk L. P.¹, Kuzyk I. R.¹

¹Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University,
Mahyma Kryvonisa str. 2, Ternopil, 46027, Ukraine

GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE LAND USE STRUCTURE OF TERNOPIL CITY UNITED TERRITORIAL COMMUNITY

Purpose. To assess of the land use structure of Ternopil city united territorial community and justify the priority areas for its optimization.

Methods. Descriptive, comparative-geographical, geoinformation, statistical, mathematical, geoecological analysis and optimization modeling. During the study, special methods were used to determine the anthropogenic load, coefficients of ecological stability and anthropogenic transformation of the Ternopil city united territorial community.

Results. Analyzing of the land use structure of Ternopil city united territorial community, it was found that the share of natural lands within it is only 32.5%. The main geoecological problems of the land use of Ternopil city united territorial community are the imbalance of land structure, the lack of master plans of rural settlements

© Царик Л. П., Кузик І. Р., 2020



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/).

and territorial boundaries, the lack of inventory and regulatory monetary valuation of land. The coefficient of anthropogenic transformation of the territory of Ternopil city united territorial community is 6.7, which corresponds to the category of highly transformed landscapes. The coefficient of ecological stability of the Ternopil city united territorial community is 0.28, the territory is ecological unstable with a score of anthropogenic load of 3.22. The geoecological assessment of the land use structure of Ternopil city united territorial community, testified the need to optimize the structure of land and to introduce effective scientifically sound measures.

Conclusions. To correct and improve the situation, bringing the territory of the Ternopil city united territorial community to ecological stability, it is necessary to implement optimization measures. In the study we have developed an optimization model of land use in the Ternopil city united territorial community, which provides for the reduction of arable land by 18%, increase in forest cover by 12% and bringing the share of natural lands to the optimal 50%. The implementation of such an approach requires a change in the purpose of individual land plots and the organization of their landscape-adapted use.

KEY WORDS: land use, decentralization, geoecological assessment, anthropogenic load, ecological stability

Царик Л. П.¹, Кузик И. Р.¹

¹Тернопольский национальный педагогический университет имени Владимира Гнатюка

ул. М. Кривоноса, 2, г. Тернополь, 46027, Украина

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СТРУКТУРЫ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРНОПОЛЬСКОЙ ГОРОДСКОЙ ОБЪЕДИНЕННОЙ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ ОБЩИНЫ

Цель. Оценить структуру землепользования Тернопольской городской объединенной территориальной общины и обосновать приоритетные направления ее оптимизации.

Методы. Описательный, сравнительно-географический, геоинформационный, статистический, математический, геоэкологический анализ и оптимизационное моделирование. Также, в ходе исследования были использованы специальные методы для определения антропогенной нагрузки, коэффициентов экологической стабильности и антропогенной трансформации территории Тернопольской городской объединенной территориальной общины.

Результаты. Проанализировав структуру землепользования Тернопольской городской объединенной территориальной общины, установлено, что доля природных угодий в ее пределах составляет лишь 32,5%. Основными геоэкологическими проблемами землепользования Тернопольской городской общины является разбалансированность структуры земельных угодий, отсутствие генеральных планов сельских населенных пунктов и территориальных границ, не проведена инвентаризация и нормативно денежная оценка земель. Коэффициент антропогенной преобразованности территории Тернопольской городской объединенной территориальной общины составляет 6,7, что соответствует категории сильно преобразованных ландшафтов. Коэффициент экологической стабильности Тернопольской городской объединенной территориальной общины составляет 0,28, территория экологически не стабильна с баллом антропогенной нагрузки 3,22. Таким образом, проведенная геоэкологическая оценка структуры землепользования Тернопольской городской объединенной территориальной общины, показала необходимость оптимизации структуры земельных угодий и реализацию эффективных научно обоснованных мероприятий.

Выводы. Для исправления и улучшения ситуации, приведение территории Тернопольской городской объединенной территориальной общины к экологической стабильности, необходимо реализовать оптимизационные мероприятия. В частности, в исследовании разработаны оптимизационные модели землепользования территорий Тернопольской городской объединенной территориальной общины, предусматривающей сокращение пахотных земель на 18%, увеличение лесистости на 12% и доведение доли природных угодий к оптимальному показателю 50%. Реализация такого подхода требует изменения целевого назначения отдельных земельных участков и организации их ландшафтно-адаптировано использования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: землепользование, децентрализация, геоэкологическая оценка, антропогенная нагрузка, экологическая стабильность

Вступ

На сучасному етапі адміністративно-територіальної реформи України у Тернопільській області сформовано 54 об'єднані територіальні громади. Тернопільська область лідирує серед областей України за кількістю новостворених адміністративних

одиниць. На Тернопільщині сформувались як великі, за площею та кількістю населених пунктів громади, так і малі. Серед найбільших це – Тернопільська, Шумська, Чортківська, Підволочиська та Зборівська міські територіальні громади. Серед найменших,

які об'єднали по 2 сільські ради – це Гримайлівська, Заводська, Колодненська, Коцюбинська, Лопушненська та Черняхівська ОТГ [1].

Тернопільська міська об'єднана територіальна громада (ОТГ) створена 14 листопада 2018 року, об'єднує 5 сільських рад і м. Тернопіль. Загальна площа громади становить 151,9 км², населення 224 364 особи [2]. Основними геоecологічними проблемами Тернопільської ОТГ є раціональне землекористування, водокористування (включаючи водопостачання і водовідведення), озеленення території, особливо м. Тернопіль, повождення із ТПВ тощо. Ряд цих проблем носить не лише локальний, але і регіональний та національний характер. Так, вирішення питання поводження із побутовими відходами, робота очисних споруд, якісне водопостачання потребує відповідного фінансування та законодавчого врегулювання на загальнодержавному рівні [3]. Проте, питання пов'язані із раціональним використанням земельних ресурсів громади, озелененням, зменшенням ущільнення забудови, територіальним та районним плануванням можуть бути вирішені на рівні ОТГ.

У вересні 2017 року Кабінет Міністрів України ухвалив Розпорядження [4] «Про передачу в управління об'єднаним територіальним громадам сільськогосподарських земель за межами населених пунктів». У Тернопільській області планується передати у комунальну власність ОТГ близько 40 тис. га земель. Передача земель за межами населених пунктів у власність громад удосконалив механізм управління у сфері земельних ресурсів, дасть змогу чітко й прозоро формувати дохідну частину місцевих бюджетів у частині плати за землю. Адже, плата за землю становить близько 15% у структурі надходжень до загального фонду місцевих бюджетів, а в надходженнях місцевих податків і зборів – понад 50% [5]. Одним із етапів передачі земель у комунальну власність ОТГ, є інвентаризація земельних угідь.

Програмою розвитку земельних відносин Тернопільської міської територіальної громади на 2019-2022 роки [6] передбачено 5 млн. грн. для проведення інвентаризації зе-

мель площею 2100 га. Також, цією Програмою передбачено розробку проектів землеустрою окремих земельних ділянок громади, оптимізацію структури земельних угідь, зокрема в частині використання земель сільськогосподарського призначення тощо. У зв'язку з цим виникає необхідність проведення геоecологічної оцінки структури землекористування Тернопільської міської ОТГ. Об'єктом дослідження обрано Тернопільську міську об'єднану територіальну громаду, а предметом – структуру земельних угідь Тернопільської ОТГ.

У зв'язку із реформою децентралізації, яка уже понад 6 років реалізується в Україні, активізувались наукові та науково-практичні дослідження цього процесу. Серед останніх публікацій в яких висвітлюються питання землекористування та управління земельним ресурсами об'єднаних територіальних громад, варто відмітити дослідження Третяка А. М. [7], Костишина О. О. [5], Мельника Д. М., Дороша О. С., Свиридової Л. А. [8] та інших. Формування землекористування об'єднаних територіальних громад на другому етапі децентралізації влади досліджували Новаковський Л. Я. та Новаковська І. О. [9]. Соціально-економічні особливості землекористування в умовах формування об'єднаних територіальних громад у своїх публікаціях висвітлювала Белая І. С. [10].

Проблематику адміністративно-територіальної реформи України, формування спроможних територіальних громад та особливості використання земельних ресурсів ОТГ також вивчали: Заставецька Л. Б. [11], Олійник Я. Б., Остапенко П. О. [12], Лазарева О. В. [13] та інші. Геоecологічні проблеми землекористування ОТГ Тернопільської області висвітлено у публікації Кузика І. Р. [14]. Важливим у контексті проведення геоecологічної оцінки землекористування міської ОТГ, є дослідження територіальної структури природокористування міста, яке на прикладі м. Харків провели Клещ А. А., Максименко Н. В., Пономаренко П. Р. [15].

Мета – оцінка структури землекористування Тернопільської міської об'єднаної територіальної громади та обґрунтування пріоритетних напрямків її оптимізації.

Матеріали та методи дослідження

Матеріалами для проведення геоecологічної оцінки структури землекористування Тернопільської міської ОТГ послужили Звіти Головного управління Держгеокада-

стру у Тернопільській області (форма б-зем) [16], дані офіційного сайту «decentralization.gov.ua» [1], інвестиційного паспорта м. Тернопіль [2] та інших статистичних даних

Тернопільської міської ради. У ході проведеного дослідження використано методи геоecологічної оцінки та оптимізаційного моделювання структури землекористування Тернопільської міської ОТГ.

Для комплексної геоecологічної оцінки структури землекористування Тернопільської ОТГ проведено розрахунок коефіцієнта антропогенної перетвореності, визначено коефіцієнт екологічної стабільності та бал антропогенного навантаження. Одним із важливих завдань даного дослідження є оцінка ступеня трансформованості ландшафтів Тернопільської ОТГ. Інтегральним показником, за допомогою якого можна оцінити екологічний стан природних та природно-антропогенних систем об'єднаної територіальної громади, є *коефіцієнт антропогенної перетвореності* ландшафтів. Коефіцієнт антропогенної перетвореності ($K_{ан}$) згідно з методикою В. А. Анучіна, М. Я. Лемешева, К. Г. Гофмана та П. Г. Шищенка [17] розраховується за формулою:

$$K_{ан} = \sum (r_i \times q_i \times p) \times n / 100 \quad (1)$$

де: $K_{ан}$ – коефіцієнт антропогенної перетвореності; r_i – ранг антропогенного перетворення ландшафтів певним видом природокористування; q_i – індекс глибини перетворення ландшафту; p – площа рангу (%); n – кількість складових частин в межах контуру ландшафтного району [17].

Кожному із видів природокористування присвоюється ранг антропогенної перетвореності: 1 – природні заповідні території; 2 – ліси; 3 – болота і заболочені землі; 4 – луки; 5 – сади і виноградники; 6 – орні землі; 7 – сільська забудова; 8 – міська забудова; 9 – водосховища, канали; 10 – землі промислового використання [17].

При розрахунках індексу глибини перетвореності ландшафтів (q_i) експертним шляхом визначається «вага» кожного із видів природокористування в сумарній їх перетвореності. Індекс глибини перетвореності різних видів природокористування, встановлений експертним шляхом, є наступним: 1 – природні заповідні території; 1,05 – ліси; 1,1 – болота, плавні, заболочені землі; 1,15 – луки; 1,2 – сади, виноградники; 1,25 – орні землі; 1,3 – сільська забудова; 1,35 – міська забудова; 1,4 – водосховища; 1,5 – землі промислового використання.

Враховуючи значний діапазон коливань $K_{ан}$, виділяють п'яти-ступеневу шкалу

його інтерпретації: 2,00 – 3,80 – слабо перетворені ландшафти; 3,81 – 5,30 – перетворені; 5,31 – 6,50 – середньо перетворені; 6,51 – 7,40 – сильно перетворені; 7,41 – 8,00 – надмірно перетворені [17].

Для визначення *коефіцієнта екологічної стабільності території* і *бала антропогенного навантаження* розроблено систему показників, що характеризують кожен вид угіддя за впливом, який ці землі здійснюють на навколишнє середовище (табл. 1) [18]. Коефіцієнт екологічної стабільності території розраховується за формулою:

$$K_{екст} = (\sum K_i \times P_i / \sum P_i) \times K_p \quad (2)$$

де: $K_{екст}$ – коефіцієнт екологічної стабільності території; K_i – коефіцієнт екологічної стабільності угідь i -го виду (табл. 1); P_i – площа угідь i -го виду (га); K_p – коефіцієнт морфологічної стабільності рельєфу (1,0 для стабільних і 0,7 – для нестабільних земель) [18].

За значенням величини коефіцієнта екологічної стабільності визначають екологічну стабільність досліджуваної території. Якщо:

$K_{екст} < 0,34$ – територія екологічно нестабільна і потрібно визначити радикальні заходи для виправлення ситуації і недопущення погіршення екологічного стану території;

$K_{екст} = 0,34-0,50$ – стабільно нестійка, треба вжити заходів для виправлення і покращання ситуації і приведення території до екологічної стабільності;

$K_{екст} = 0,51-0,66$ – середньо-стабільна, рекомендувати заходи для покращання і підтримання території в стабільному стані;

$K_{екст} = 0,67$ і $>$ – екологічно стабільна, визначити бажані заходи для підтримання території в екологічно стабільному стані [18].

Бал антропогенного навантаження розраховують за формулою:

$$B_{ан} = (\sum B_i \times P_i / \sum P_i) \times K_p \quad (3)$$

де: $B_{ан}$ – бал антропогенного навантаження; B_i – бал антропогенного навантаження угідь i -го виду (табл. 1); P_i – площа угідь i -го виду (га); K_p – коефіцієнт морфологічної стабільності рельєфу (1,0 для стабільних і 0,7 – для нестабільних земель). Бал антропогенного навантаження знаходиться у діапазоні від 2 до 5. Чим ближчий показник антропогенного навантаження до 5, тим більшого антропогенного навантаження зазнає територія і навпаки [18].

Таблиця 1

Показники, що характеризують екологічний вплив на навколишнє середовище окремих видів земельних угідь [18]

Назва угідь	Коефіцієнт екологічної стабільності, K_i	Бал антропогенного навантаження угіддя, B_i
Забудована територія і дороги	0,00	5
Орні землі	0,14	4
Виноградники	0,29	4
Лісосмуги	0,38	4
Сади, чагарники	0,43	3
Сіножаті	0,62	3
Пасовища, перелоги	0,68	3
Землі під водою і болота	0,79	2
Ліси та лісовкриті землі	1	2

Оптимізаційне моделювання землекористування Тернопільської міської ОТГ передбачає реалізацію ряду підходів, які базуються на методиках Ю. Одума [19], М. Д. Гродзинського [20] та Л. П. Царика [21] і враховують зональні особливості території. Зокрема оптимізаційні показники зони мішаних, широколистяних лісів та лісостепової зони помірного поясу. Розробка оптимі-

заційної моделі структури земельних угідь Тернопільської ОТГ ґрунтується на оптимізаційних показниках зони широколистяних лісів 23-40% лісистості та частці природних угідь 50-60% [20]. Адже саме 60% природних угідь необхідно геосистемі для підтримання динамічної рівноваги та виконання нею основних стабілізаційних і регенеративних функцій.

Результати та їх аналіз

Тернопільська міська ОТГ, найбільша громада області, за кількістю населення (224 364 особи). До її складу входить 5 сільських рад і м. Тернопіль (табл. 2) [1]. Сучасна структура Тернопільської ОТГ відповідає Розпорядженню Кабінету Міністрів

України №724-р від 12.06.2020 року «Про визначення адміністративних центрів та затвердження територій територіальних громад Тернопільської області» [22]. Адже 7 лютого 2020 року до Тернопільської громади приєдналась остання Городищенська

Таблиця 2

Склад Тернопільської міської ОТГ [1]

Тернопільська міська об'єднана територіальна громада	Тернопільська міська рада	м. Тернопіль
	Куровецька сільська рада	с. Курівці
	Кобзарівська сільська рада	с. Кобзарівка
		с. Вертелка
	Малашовецька сільська рада	с. Малашівці
		с. Іванківці
		с. Чернихів
	Чернихівська сільська рада	с. Глядки
		с. Плєсківці
	Городищенська сільська рада	с. Городище
с. Носівці		

сільська рада Козівського району. Тернопільська ОТГ, особлива тим, що її склад сформовано із сільських рад двох адміністративних районів (Зборівського і Козівського), при цьому жоден населений пункт Тернопільського району до складу громади не входить.

У структурі землекористування Тернопільської міської ОТГ переважають орні землі (53%), близько 12% становлять забудовані землі, 11% території громади займають ліси, 14% сіножаті і пасовища, 4,5% - землі під водою та болотами і 3% - багаторічні насадження (рис. 1). Звичайно, що

структура землекористування м. Тернопіль [16] суттєво відрізняється від структури землекористування інших сільських рад громади. Так, наприклад, частка забудованих земель у Тернополі становить 55%, тоді як у сільських радах 3-5%. Найвища частка орних земель спостерігається у Гродищенській (75%) та Кобзарівській (60,5%) сільських радах, тоді як у місті Тернопіль розо-

раність лише 20%. Найнижчою лісистістю є у Гродищенській сільській раді (2%) та у м. Тернопіль (6%), в інших сільських радах частка лісовкритих земель складає 12-16%. Землі під водою та болотами у Гродищенській та Кобзарівській сільських радах становлять близько 1%, у решту сільських рад громади та м. Тернопіль частка водноболотних угідь складає 5-6%.

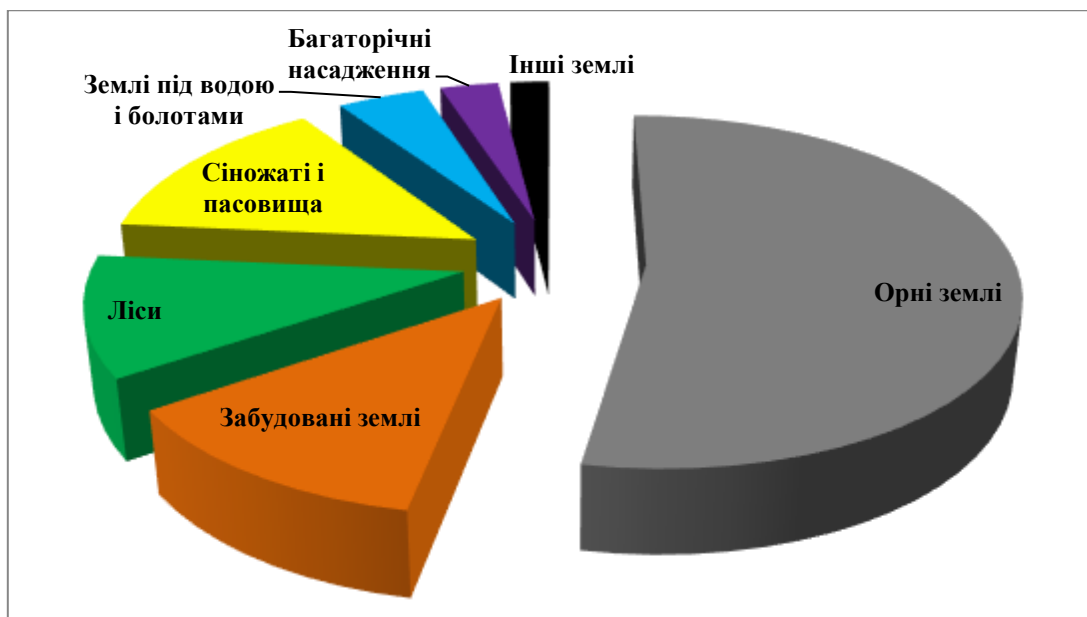


Рис. 1 – Структура землекористування Тернопільської міської ОТГ

Висока господарська освоєність земельного фонду Тернопільської міської ОТГ, без належних заходів щодо його охорони і відтворення як виробничого ресурсу, привела до прогресуючої деградації земель. Основними геоекологічними проблемами землекористування Тернопільської міської ОТГ є відсутність генеральних планів сільських населених пунктів і територіальних меж громади, проєктів землеустрою більшості земельних ділянок, не встановлення меж в натурі земель природно-заповідного, оздоровчого, рекреаційного, історико-культурного призначення та прибережних захисних смуг [6].

Для реалізації, однієї із цілей Стратегічного плану розвитку Тернопільської міської територіальної громади до 2029 року, а саме: «забезпечення ефективної розбудови громади» [23], необхідно насамперед провести інвентаризацію земель громади. За попередніми підрахунками в результаті проведення інвентаризації земель надходження в місцевий бюджет від плати за землю, збільшаться від 30 до 40%. Одним аспектом розвитку збалансованого землекористування на тери-

торії Тернопільської міської ОТГ повинна стати нормативна грошова оцінка земель. Проведення нормативної грошової оцінки земель Тернопільської ОТГ та створення бази даних з обліку всіх власників і користувачів земельних ділянок сприятиме розвитку ринкових земельних відносин на території громади. Що у свою чергу, дозволить проводити продаж земельних ділянок на земельних торгах у формі аукціону та збільшить надходження у бюджет [6].

В геоекологічній сфері, землекористування Тернопільської міської ОТГ потребує наступних заходів:

- оптимізація структури земельних угідь та розвиток раціонального використання земельних ресурсів відповідно до потреб громади [6];
- розроблення містобудівної документації усіх населених пунктів територіальної громади, вдосконалення планування територій, зокрема в частині її ефективного використання та надання земельних ділянок під забудову [24];

- захист лісових земель та озелених територій від необґрунтованого вилучення для господарських потреб, дотримання екологічних вимог природоохоронного законодавства при землепорядкуванні територій;

- оптимізація використання земель сільськогосподарського призначення із врахуванням екологічних вимог охорони земель;

- створення та відновлення полезахисних лісових смуг, захисних лісових насаджень на землях сільськогосподарського призначення (у ярах, балках, на пісках, уздовж берегів річок, водойм та на деградованих і забруднених сільськогосподарських угіддях) [6].

Для реалізації вище зазначених заходів та раціонального використання земельних ресурсів Тернопільської міської ОТГ, насамперед потрібно провести інвентаризацію земель та геоecологічну оцінку землекористування. Якщо Програмою розвитку земельних відносин Тернопільської міської територіальної громади на 2019-2022 роки [6] передбачена інвентаризація земель, то геоecологічна оцінка структури землекористування в найближчі роки не запланована. Тому, у даному дослідженні проведено геоecологічну оцінку структури землекористування Тернопільської міської ОТГ, з позиції антропогенної перетвореності та екологічної стабільності. Адже, геоecологічна оцінка структури землекористування, відіграє важливу роль у ландшафтному і територіальному плануванні громади. Оскільки, методологія такого планування ґрунтується на врахуванні можливості природного потенціалу території виконувати певні соціально-економічні функції без погіршення екологічного стану та появи деструктивних процесів і явища [25].

Враховуючи сучасну структуру землекористування Тернопільської міської ОТГ, можемо розрахувати коефіцієнт антропогенної перетвореності території громади за формулою 1. Відповідно до проведених розрахунків, коефіцієнт антропогенної перетвореності території Тернопільської міської ОТГ становить **6,7**. Тобто територія Тернопільської громади характеризується як **сильно перетворена** і потребує впровадження ефективних оптимізаційних заходів. Пріоритетні напрямки оптимізації землекористування Тернопільської ОТГ повинні враховувати ландшафтно-екологічні особливості території та базуватися на паритетному розвитку соціальної, економічної та екологічної сфер. Реалізація такого підходу впродовж певного періоду часу, потребує зміни цільового призначення

окремих земельних ділянок та організації їх ландшафтно-адаптованого використання.

Для комплексної геоecологічної оцінки структури землекористування Тернопільської міської ОТГ, визначаємо коефіцієнта екологічної стабільності території, який найбільш повноцінно репрезентує функцію геосистеми з позиції підтримання динамічної рівноваги та збалансованого розвитку. Проведені за формулою 2 розрахунки, показали, що коефіцієнта екологічної стабільності Тернопільської ОТГ становить **0,28**. Таким чином, територія Тернопільської громади є **екологічно не стабільна**, тому потребує впровадження оптимізаційних заходів, насамперед у структурі землекористування. Розрахований, за формулою 3, бал антропогенного навантаження Тернопільської міської ОТГ становить **3,22**. Тобто, територія Тернопільської громади зазнає достатньо високого антропогенного навантаження.

На основі проведених розрахунків коефіцієнта антропогенної перетвореності, коефіцієнта екологічної стабільності та балу антропогенного навантаження Тернопільської міської ОТГ, можна стверджувати про необхідність оптимізації структури землекористування досліджуваної території. Оптимальна ландшафтно-екологічна організація території передбачає обґрунтування такої територіальної диференціації функцій (на практиці – схеми угідь), за якої максимально повно реалізуються природні потенціали геосистем та виключені конфліктні ситуації між її функціональним використанням [20]. Оптимально організована територія має бути високопродуктивною, безконфліктною та естетично привабливою. Зважаючи на науково обґрунтоване співвідношення між природними і господарських угіддями, 60% природних угідь необхідно екосистемі для підтримання динамічної рівноваги, виконання нею основних стабілізаційних, регенеративних функцій, для забезпечення належних природних умов життєдіяльності населення [21].

Аналіз територіальних відмінностей співвідношення природних та антропогенних земельних угідь території Тернопільської міської ОТГ показав значну їх диференціацію і відмінність від науково обґрунтованих норм (частка природних угідь 32%). Враховуючи основні засади концепції сталого розвитку нами розроблено оптимізаційну модель землекористування Тернопільської ОТГ (табл. 3), яка знаходиться у зоні широколистяних лісів із нормативним показником лісистості 23-40%.

Таблиця 3

Оптимізаційна модель структури земельних угідь території Тернопільської міської ОТГ, %

Адміністративна одиниця	Орні землі (наявна\оптим).	Забудовані землі	Землі під водою та болотами	Землі під лісами (наявна\оптим).	Пасовища, сіножаті, б/н (наявна\оптим).	Частка природні рослинності (наявна\оптим).
м. Тернопіль	20 / 10	55,0	5,5	6 / 12	11,0 / 15,0	22,5 / 32,5
Куровецька с/р	56 / 40	3,0	6,0	13 / 25	19,5 / 23,5	38,5 / 54,5
Кобзарівська с/р	60,5 / 40	4,0	1,5	15 / 26	16,0 / 25,5	32,5 / 53,0
Малашівська с/р	52 / 40	5,5	6,5	16 / 23	17,0 / 22,0	39,5 / 51,5
Черняхівська с/р	55 / 40	3,0	6,0	14 / 25	19,0 / 23,0	39 / 54,0
Городищенська с/р	75 / 40	4,0	1,0	2 / 27	17,0 / 27,0	20 / 55,0

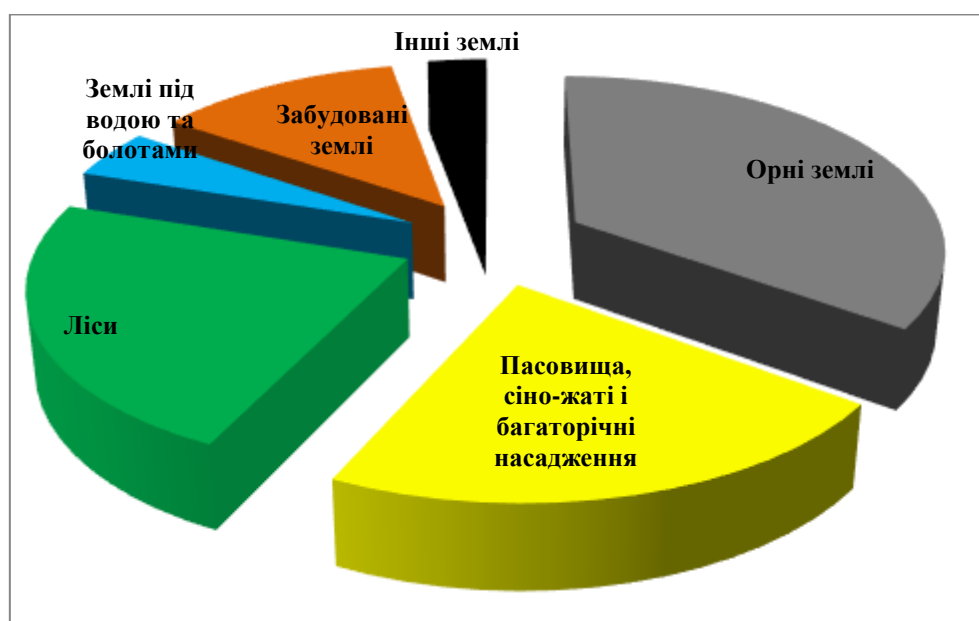


Рис. 2 – Оптимізаційна структура землекористування Тернопільської міської ОТГ

Запропонована модель враховує загальносвітові тенденції щодо співвідношення площ угідь під природною рослинністю та антропогенних земельних ділянок (60:40).

Враховуючи високу розораність території Тернопільської міської ОТГ (53%), її в середньому необхідно скоротити на 18%. Зважаючи на особливості ландшафтів Тернопільської громади, скорочення орних земель пропонуємо проводити за рахунок малопродуктивних, слабо- і середньоеродованих земель та земель в межах так званих водоохоронних зон. Частина земель такого типу з крутизною схилу більше 5° рекомендується під заліснення, що сприятиме зростанню лісистості території в середньому на 12%. Інша частина вилучених орних земель з крутизною схилів менше 5° підлягатиме залуженню, що дасть можливість довести

частку пасовищ, сіножатей і багаторічних насаджень до 22%. Проведення таких оптимізаційних заходів сприятиме зростанню частки земель під природними угіддями в межах Тернопільської міської ОТГ із 32% до 50%.

Таким чином, оптимізаційна структура землекористування територій Тернопільської міської ОТГ (рис. 2), включатиме: 35% - орних земель, 23% – лісів та лісовкритих площ, 22% – сіножатей, пасовищ і багаторічних насаджень, 12,5% – забудованих земель, 4,5% - земель під водою та болотами і 3% - інших земель. В основу запропонованої моделі покладено принцип рівноваги та паритетного розвитку господарства. Це означає, що використання земельних та інших природних ресурсів досліджуваної території не будуть погіршувати якості довкілля і стану природ-

них геосистем. Реалізувати такий підхід потрібно впродовж певного періоду часу, змінивши цільове призначення земель та організувавши їх ландшафтно-адаптоване викорис-

тання. Оптимізаційні заходи передбачають покращання якості довкілля і формування екологічно безпечної системи природокористування в межах Тернопільської міської ОТГ.

Висновки

В ході проведеного дослідження встановлено, що основними геоecологічними проблемами землекористування Тернопільської ОТГ є розбалансованість структури земельних угідь, відсутність генеральних планів сільських населених пунктів і територіальних меж громади, не проведена інвентаризація та нормативно грошова оцінка земель. З метою забезпечення ефективної розбудови Тернопільської громади, її ландшафтного і територіально планування, проведено геоecологічні оцінку структури землекористування. Визначено коефіцієнт антропогенної перетвореності (6,7), коефіцієнт екологічної стабільності (0,28) та бал антропогенного навантаження (3,22) території Тернопільської міської ОТГ. Встановлено, що території Тернопільської ОТГ є сильно перетворена, екологічно не стабіль-

на із середнім антропогенним навантаженням. Що у свою чергу, зумовлює необхідність раціоналізації землекористування, шляхом поетапної реалізації оптимізаційної моделі структури земельних угідь Тернопільської міської ОТГ. Змінивши цільове призначення окремих земельних ділянок, та заліснивши малопродуктивні і високоеродовані землі, оптимізаційна структура земельних угідь Тернопільської ОТГ включатиме: 35% - орних земель, 23% – лісів, 22% – сіножатей, пасовищ і багаторічних насаджень, 12,5% – забудованих земель і 4,5% - земель під водою та болотами. Перспективою подальших досліджень залишається визначення ареалів конкретних земельних угідь для переведення їх із категорії антропогенні в категорію природні, із подальшою оптимізацією.

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.

Література

1. Децентралізація. Офіційний сайт. URL: <http://decentralization.gov.ua>
2. Тернопіль інвестиційний паспорт, 2019. URL: https://ternopilcity.gov.ua/app/webroot/files/Investment_passport_Ternopil_2019-09052019%2008%20-%2005%20-2019.pdf
3. Tsaryk L., Yankovska L., Tsaryk P., Novytska S., Kuzyk I. Geocological problems of decentralization (on Ternopol region materials). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. Vol. 29.(1). Dnipro, 2020. P. 196-205. URL: <https://doi.org/10.15421/112018>
4. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 31.01.2018 №60. «Питання передачі земельних ділянок сільськогосподарського призначення державної власності у комунальну власність об'єднаних територіальних громад». URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pitannya-peredachi-1>
5. Костишин О. О. Управління земельними ресурсами в умовах децентралізації. II Міжнародна Науково-практична конференція: Розвиток економічної системи в умовах глобалізації. Полтава, 2015. С. 68-70.
6. Програма розвитку земельних відносин Тернопільської міської територіальної громади на 2019-2022 роки - рішення міської ради №7/31/18 від 19.12.2018р. URL: <https://ternopilcity.gov.ua/sesiya/rishennya-sesii/25536.html>
7. Третяк А. М. Інституційні заходи щодо підвищення ефективності управління планування розвитку землекористування територіальних громад в межах території сільських (селищних, міських) рад. URL: <https://dea.edu.ua/img/source/Doc/22.12.2015.ppt>
8. Мельник Д. М., Дорош О. С., Свиридова Л. А. Реформування системи управління земельними ресурсами в умовах децентралізації влади. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2016. № 1–2. С. 16–25. URL: <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2016.01.016>
9. Новаковський Л. Я., Новаковська І. О. Формування землекористування об'єднаних територіальних громад на другому етапі децентралізації влади. *Вісник аграрної науки*. 2019. №2 (791). С.5-15. URL: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201902-01>
10. Беляя І. С. Соціально-економічні особливості землекористування в умовах формування об'єднаних територіальних громад. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Адміністративно-

- територіальні vs економічно-просторові кордони регіонів?», КНЕУ. 2020. С. 355-358. URL: https://ir.kneu.edu.ua/bitstream/handle/2010/33453/atepkr_20_73.pdf?sequence=1&isAllowed=y
11. Заставецька Л. Б. Проблеми здійснення адміністративно-територіальної реформи в Україні. Матеріали Всеукраїнської конференції з участю закордонних учених, присвяченої 70-річчю кафедри економічної і соціальної географії ЛНУ імені Івана Франка. Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка, 2015. С. 98-103.
 12. Олійник Я. Б., Остапенко П. О. Формування спроможних територіальних громад в Україні: переваги, ризики, загрози. *Український географічний журнал*. 2016. № 4. С. 37-44. <https://doi.org/10.15407/ugz2016.04.037>
 13. Лазарева О. В. Потенціал використання земельних ресурсів об'єднаних територіальних громад. *Проблеми системного підходу в економіці*. 2019. №5 (73). С. 31-36. <https://doi.org/10.32782/2520-2200/2019-5-28>.
 14. Кузик І. Геоекологічні проблеми землекористування об'єднаних територіальних громад Тернопільської області. *Наукові записки ТНПУ ім. В. Гнатюка. Серія: Географія*. 2018. № 1(44). С. 196-201. URL: <http://geography.tnpu.edu.ua/wp-content/uploads/2018/08/30.pdf>
 15. Клещ А. А., Максименко Н. В., Пономаренко П. Р. Територіальна структура природокористування міста Харків. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2017. №1-2 (27). С. 23-34. URL: http://journals.uran.ua/ludina_dov/article/view/109771/104811
 16. Матеріали звіту Головного управління Держгеокадастру у Тернопільській області (форма 6-зем) станом на 01.01.2016 р.
 17. Шищенко П. Г. Прикладная физическая география. К.: Вища школа. 1988. 192 с.
 18. Бідило М. І., Масленнікова В. В., Горбатова Л. В. Прогнозування використання земель: метод. вказівки для виконання лабораторних робіт за темою: «Аналіз та прогнозування використання земельних ресурсів». Харків: ХНАУ, 2016. 38 с.
 19. Одум Ю. Екологія в 2-х томах. М.: Мир, 1986. Т.1 328 с.; Т.2 376 с.
 20. Гродзинський М. Д. Пізнання ландшафту місце і простір [Монографія у 2-х т.]. Київ: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет». 2005. Т.1. 431 с., Т.2. 503 с.
 21. Царик Л. П. Природоохоронні пріоритети ландшафтно-екологічної оптимізації території Поділля. *Наукові записки ТНПУ ім. В. Гнатюка. Серія: Географія*. 2008. № 1 (23). С. 199-205.
 22. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 12.06.2020 №724-р «Про визначення адміністративних центрів та затвердження територій територіальних громад Тернопільської області». URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-viznachennya-administrativnih-a724r>
 23. Стратегічний план розвитку Тернопільської міської територіальної громади до 2029 року. URL: <https://ternopilcity.gov.ua/strategichni-ta-programni-dokumenti/plan-strategichnogo-rozvitku-mista-ternopolya-do-2025-roku/18938.html>
 24. Кузик І. Р. Збалансоване землекористування – пріоритетний напрям сталого розвитку міста Тернополя. Стратегія розвитку міст: молодь і майбутнє (інноваційний ліфт): матеріали Міжнародної науково-практичної конф. Харків: Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, 2018. С. 53-55.
 25. Максименко Н. В. Ландшафтне планування як засіб екологічного впорядкування території. *Проблеми Безперервної географічної освіти і картографії*. 2012. №16. С.65-68. URL: <https://periodicals.karazin.ua/pbgok/article/view/4112/3698>

References

1. Decentralization. Official site. Retrieved from <http://decentralization.gov.ua> (in Ukrainian).
2. Ternopil investmen passport, 2019. Retrieved from https://ternopilcity.gov.ua/app/webroot/files/Investment_passport_Ternopil_2019-09052019%2008%20-%2005%20-2019.pdf (in Ukrainian).
3. Tsaryk, L., Yankovs'ka, L., Tsaryk, P., Novyts'ka, S., Kuzyk, I. (2020). Geoeological problems of decentralization (on Ternopol region materials). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 29, 196-205. <https://doi.org/10.15421/112018>
4. Order of the Cabinet Ministers of Ukraine dated 31.01.2018 №60. «Issues of transfer of state-owned agricultural land plots to communal ownership of united territorial communities». Retrieved from <https://www.kmu.gov.ua/npas/pitannya-peredachi-1> (In Ukrainian).
5. Kostyshyn, O.O. (2015). Land management in a decentralized environment. Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference: The Development of the Economic System in the Conditions of Globalization. Poltava. 68-70 (In Ukrainian).
6. The Program of development of land relations of the Ternopil city territorial community for 2019-2022. Retrieved from <https://ternopilcity.gov.ua/sesiya/rishennya-sesii/25536.html> (in Ukrainian).

7. Tretyak, A. (2016). Institutional Measures to Improve the Efficiency of Land Use Management Planning Management of Territorial Communities within the Territories of Village (Village, City) Councils. Retrieved from <https://dea.edu.ua/img/source/Doc/22.12.2015.ppt> (In Ukrainian).
8. Melnyk, D.M., Dorosh, O.S. & Sviridova, L.A. (2016). Reforming of the land management system under authority of decentralization. *Land management, cadastre and land monitoring*, (1–2), 16–25. <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2016.01.016> (In Ukrainian).
9. Novakovskiy, L. & Novakovska, I. (2019). Formation of land-use of joint territorial communities at the second stage of decentralization of authority. *Bulletin of Agricultural Science*. №2 (791). 5-15. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201902-01> (In Ukrainian).
10. Belaya, I.S. (2020). Socio-economic features of land use in the conditions of formation of united territorial communities. Proceedings of the International scientific-practical conference: Administrative-territorial vs Economic-spatial Borders of Regions?. KNEU. 355-358. Retrieved from https://ir.kneu.edu.ua/bitstream/handle/2010/33453/atepkr_20_73.pdf?sequence=1&isAllowed=y (In Ukrainian).
11. Zastavetska, L. (2015). Problems of implementation of administrative-territorial reform in Ukraine. Proceedings of All-Ukrainian conference with the participation of foreign scientists dedicated to the 70th anniversary of the Department of Economic and Social Geography of the Ivan Franko National University of Lviv. Lviv, LNU. 98-10. (In Ukrainian).
12. Oliynyk, Ya.B. & Ostapenko, P.O. (2016). The Formation of Amalgamate Territorial Communities in Ukraine: Benefits, Risks, Threat. *Ukrainian Geographic Journal*, 4, 37-44. <https://doi.org/10.15407/ugz2016.04.037> (In Ukrainian).
13. Lazarieva, O. (2019). Potential of the use of the landed resources of the incorporated territorial communities. *Problems of system approach in economy*, (5(73)), 31-36. <https://doi.org/10.32782/2520-2200/2019-5-28> (In Ukrainian).
14. Kuzyk, I. (2018). Geoecological problems of land use of the combined territorial communities of Ternopil region. *Scientific Notes Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series: Geography*, 1, 196-201. Retrieved from <http://geography.tnpu.edu.ua/wp-content/uploads/2018/08/30.pdf> (In Ukrainian).
15. Klieshch, A.A., Maksymenko, N.V. & Ponomarenko, P.R. (2017). Territorial structure of the land use of Kharkiv city. *Man and environment. Issues of neoecology*, (1-2(27)), 23-34. Retrieved from http://journals.urau.ludina_dov/article/view/109771/104811 (In Ukrainian).
16. Materials of the report of the Main Department of the State Geocadastre in Ternopil region (form 6-land) as of 01.01.2016 (in Ukrainian).
17. Shyshchenko, P.G. (1988). Applied physical geography. Kyiv: Vishha shkola (In Russian).
18. Bidilo, M.I., Maslennikova, V.V. & Gorbatova, L.V. (2016). Land use forecasting: a method. instructions for laboratory work on the topic: «Analysis and forecasting of land use». Kharkiv: KhNAU (in Ukrainian).
19. Odum, Y. (1986). Ecology. Moscow: Myr (In Russian).
20. Grodzynskiy, M.D. (2005). Cognition of the landscape, place and space. Monograph in 2 vol. Kyiv: Kyiv University Publishing and Printing Center (In Ukrainian).
21. Tsaryk, L.P. (2008). Environmental priorities of landscape and ecological optimization of the territory of Podillya. *Scientific Notes Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series: Geography*, 1 (23), 199-205 (In Ukrainian).
22. Order of the Cabinet Ministers of Ukraine dated 12.06.2020 №724-p «About definition of the administrative centers and the statement of territories of territorial communities of the Ternopil region». Retrieved from <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-viznachennya-administrativnih-a724r> (In Ukrainian).
23. Strategic plan for the development of the Ternopil city territorial community until 2029. Retrieved from <https://ternopolcity.gov.ua/strategichni-ta-programni-dokumenti/plan-strategichnogo-rozvitku-mista-ternopolya-do-2025-roku/18938.html> (In Ukrainian).
24. Kuzyk, I. (2018). Balanced land use is a priority area of sustainable development of the city of Ternopil. Proceedings of the International scientific-practical conference: Urban Development Strategy: Youth and Future (innovative elevator). Kharkiv: O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, 53-55 (In Ukrainian).
25. Maksymenko, N. (2012). Landscape planning as a method of territory's ecological accomplishment. *Problems of Continuous Geographical Education And Cartography*, 16, 65-68. Retrieved from <https://periodicals.karazin.ua/pbgok/article/view/4112/3698> (In Ukrainian).

Надійшла: 17.09.2020

Прийнята: 20.10.2020

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК (UDC): 502.2:614.84:502.17(043.5)

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-23-04>

Ю. В. БУЦЬ¹, д-р техн. наук, доц., О. В. КРАЙНЮК², канд. техн. наук, доц.,
Н. В. ДІДЕНКО², канд. техн. наук, В. В. БАРБАШИН³, канд. техн. наук, доц.

¹Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця
проспект Науки, 9А, м. Харків, 61000, Україна

²Харківський національний автомобільно-дорожній університет
вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61000, Україна

³Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
вул. Маршала Бажанова, 13, Харків, 61000, Україна

e-mail: butsyura@ukr.net

alenauvarova@ukr.net

nataly.v.didenko@gmail.com

barbachyn@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0450-2617>

<https://orcid.org/0000-0001-9524-040X>

<https://orcid.org/0000-0003-3318-438X>

<https://orcid.org/0000-0003-3262-8305>

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ЕКОСИСТЕМ ПІСЛЯ ПОЖЕЖІ

Мета. Пошук способів покращення властивостей ґрунту лісових екосистем після дії пірогенного чинника: запропонувати технологічні заходи з відновлення якостей та покращення властивостей ґрунту екосистеми, довести ефективність використання глини в очищенні ґрунту в якості сорбенту.

Методи. Запропоновано внесення глини, як потенційного сорбенту для очищення природних ґрунтів від важких металів (ВМ). Мінеральний склад якої визначено за допомогою рентгенофазового аналізу. Також використовувався метод фітореMediaції за допомогою кульбаби звичайної для концентрування ВМ. Концентрацію іонів ВМ визначали атомно-адсорбційним методом.

Результати. Завданням експериментального дослідження стало обґрунтування застосування дешевої природної глинистої сировини без попередньої її активації для вилучення ВМ з ґрунтового розчину. Для проведення експерименту вибрана глина Харківського регіону. Доведено ефективність як використання глини в очищенні ґрунту в якості сорбенту, так і фітореMediaції кульбаби звичайної по відношенню до важких металів. Запропоновані технологічні заходи з відновлення якостей та покращення властивостей ґрунту екосистеми: виконання проектно-вишукувальних робіт, включаючи польові дослідження; виконання державного екологічного дослідження (моніторингу); очищення постраждалої ділянки від пошкоджених дерев; рекультивацию родючості ґрунтів відновлюваних територій, що передбачені проектуванням відновлення, в залежності від характерних особливостей ушкоджень ділянок і подальшого застосування відновлювальних територій.

Висновки. При постпірогенній релаксії екосистем, в умовах техногенного навантаження, доведено ефективність використання глини як сорбента в очищенні ґрунту та фітореMediaції за допомогою кульбаби звичайної по відношенню до важких металів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: важкі метали, лісові пожежі, фітоекстракція, фітореMediaція, сорбція, глина

Buts Y. V.¹, Krainyuk O. V.², Didenko N. V.², Barbashin V. V.³

¹Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, 9A, Prospect Science, Kharkiv, 61000, Ukraine

²Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo St., Kharkiv, 61002, Ukraine

³O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, 17, Marshal Bazhanov St., Kharkiv, 61002, Ukraine

RECOMMENDATIONS FOR ENSURING ENVIRONMENTAL SAFETY OF ECOSYSTEM RESTORATION AFTER FIRE

Purpose. To find ways to improve the soil properties of forest ecosystems after the action of the pyrogenic factor: to propose technological measures to restore the quality and improve the soil properties of the ecosystem; to prove the effectiveness of using clay in soil cleaning as a sorbent.

© Буц Ю. В., Крайнюк О. В., Діденко Н. В., Барбашин В. В., 2020



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/).

Methods. The introduction of clay as a potential sorbent for cleaning fertile soils from trace metals is proposed. The mineral composition of the clay was determined by X-ray phase analysis. Clay materials can be successfully used in adsorption cleaning technologies. The method of phytoremediation with the help of dandelion to concentrate trace metal was used also. The concentration of trace metal was determined by atomic adsorption analysis.

Results. The task of the experimental study was to substantiate the possibility of using cheap natural clay raw materials without its prior activation to remove trace metals from the soil solution. In the case of post-pyrogenic relaxation of ecosystems under conditions of man-caused load, the soil in the restored area may be contaminated with VM and other hazardous substances. The clay of the Kharkiv region was chosen for the experiment. The experiment proved the effectiveness of the use of clay in soil purification as a sorbent, and phytoremediation of dandelion in relation to heavy metals. Thus, both technical and biological methods of VM sorption to prepare the soil for planting can be recommended for the restoration of the forest ecosystem after a fire. The proposed technological measures to restore the quality and soil properties of the ecosystem include the implementation of design and survey work, including field research; implementation of the state ecological research (monitoring); cleaning the affected area from damaged trees; reclamation of soil fertility of regenerative territories, provided by design of restoration, depending on characteristic features of damages of sites and the subsequent application of regenerative territories.

Conclusions. At postpyrogenic relaxation of ecosystems, in the conditions of technogenic loading, the efficiency of using clay in soil cleaning as a sorbent and phytoremediation with dandelion in relation to heavy metals has been proved.

KEYWORDS: heavy metals, forest fires, phytoextraction, phytoremediation, sorption, clay

Буц Ю. В.¹, Крайнюк Е. В.², Диденко Н. В.², Барбашин В. В.³

¹*Харьковский национальный экономический университет имени Семена Кузнецца, пр Науки, 9А, г. Харьков, 61000, Украина*

²*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, ул. Ярослава Мудрого, 25, г Харьков, 61000, Украина*

³*Харьковский национальный университет городского хозяйства имени О.Н. Бекетова, ул. Маршала Бажанова, 13, Харьков, 61000, Украина*

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ЭКОСИСТЕМ ПОСЛЕ ПОЖАРА

Цель. Поиск способов улучшения свойств почвы лесных экосистем после воздействия пирогенного фактора: предложить технологические мероприятия по восстановлению качеств и улучшения свойств почвы экосистемы, доказать эффективность использования глины в очистке почвы в качестве сорбента.

Методы. Предложено внесение глины, как потенциального сорбента для очистки природных почв от тяжелых металлов (ТМ). Минеральный состав которой определен с помощью рентгенофазового анализа. Также использовался метод фиторемедиации с помощью одуванчика обычного для концентрирования ВМ. Концентрацию ионов ВМ определяли атомно-адсорбционным методом.

Результаты. Задачей экспериментального исследования стало обоснование применения дешевого природного глинистого сырья без предварительной активации для извлечения ВМ с почвенного раствора. Для проведения эксперимента выбрана глина Харьковского региона. Доказана эффективность как использования глины в очистке почвы в качестве сорбента, так и фиторемедиации одуванчика обычного по отношению к тяжелым металлам. Предложенные технологические мероприятия по восстановлению качеств и улучшения свойств почвы экосистемы: выполнение проектно-изыскательских работ, включая полевые исследования; выполнение государственного экологического исследования (мониторинга) очистки пострадавшего участка от поврежденных деревьев рекультивацию плодородия почв возобновляемых территорий, предусмотренных проектированием восстановления, в зависимости от характерных особенностей повреждений участков и дальнейшего применения восстановительных территорий.

Выводы. При постпирогенной релаксии экосистем в условиях техногенной нагрузки, доказана эффективность использования глины в очистке почвы как сорбента и фиторемедиации с помощью одуванчика обычной по отношению к тяжелым металлам

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: тяжелые металлы, лесные пожары, фитоэкстракция, фиторемедиация, сорбция, глина

Вступ

Пожежами у екосистемах пошкоджуються та знищуються лісові насадження, заповідні степові землі, сільськогосподарські угіддя, водно-болотні комплекси. На гасіння

ландшафтних пожеж, відновлення насаджень на місці згарищ, а також за рахунок втрати врожаїв, загибелі представників фауни, витрачаються матеріально-фінансові ресурси,

які могли б бути спрямовані на виконання не менш важливих природоохоронних заходів. При встановленні високої та надзвичайної пожежної небезпеки щоденно виникає значна кількість пожеж в екосистемах (насамперед, у лісових масивах), які у ряді випадків розповсюджуються до рівня надзвичайних ситуацій (НС).

Ґрунт, що зазнав впливу пірогенного чинника, тривалий час не відновлюється, а рослинність на місцях пожеж з'являється лише через довготривалий час, тому повне природне відтворення екосистеми може зайняти кілька десятиліть. Насамперед, треба всі зусилля спрямувати на відновлення якостей ґрунту та покращення його властивостей.

Перед тим як почати виконувати відновлювальні роботи, слід створити і обдумати план відновлення. В основному він виконується на підставі наявних санітарно-гігієнічних, лісгосподарських, водогосподарських та інших норм і стандартів, беручи до особливої уваги природні і кліматичні умови, а також місцезнаходження порушеної земельної ділянки.

Питанням дослідження відновлення лісових систем після пожежі присвячено ряд робіт. На даний момент робіт, є роботи, що присвячені геоекологічному аналізу впливу антропогенних чинників на виникнення лісових пожеж. Одна з них – робота Ю.А. Андрєєва [1], у якій містяться результати вивчення закономірностей виникнення техногенних і природних пожеж. Моделювання і оцінювання факторів, як техногенного так і природного характеру, є вирішальним для розробки методів попередження виникнення надзвичайної ситуації пірогенного характеру [2]. Ряд досліджень присвячено вивченню постпірогенних змін у лісових екосистемах [3-7]. Однак, питанням відтворення екосистем після дії пірогенного чинника не приділяється достатньої уваги. Розгляду екологічної небезпеки при виникненні лісових пожеж присвячено

роботу [8], у якій вивчалася динаміка відновлення біогеоценозів на ґрунтах, які зазнали лісової пожежі. У роботі [9] автори досліджують соціальні аспекти відновлення навколишнього середовища після пожежі, робиться акцент на тому, що недостатньо знань про чинники, що впливають на екологічне відновлення. Вивчаються дані щодо збереження біорізноманіття, управління видами рослин, умови проживання яких багато в чому залежать від частих пожеж [10]. У роботі [11] представлений досвід відновлення плантацій сосни після пожежі, а в дослідженні [12] – відновлення болотних екосистем. Наукова робота [13] присвячена вивченню поняття значення терміну «стійкість» для управління лісами і пожежами. Представляє науковий інтерес дослідження [14], у якому автори вивчають якість ґрунту після лісових пожеж за допомогою розрахунку індексу якості ґрунту на підставі фізичних, хімічних та біологічних властивостей ґрунту. У попередніх дослідженнях [7, 15, 16] нами розроблено математичні моделі динаміки поведінки ВМ, що засновані на побудові концентраційно-логіфімічних діаграм, які дозволяють прогнозувати здатність сполук хімічних сполук до міграції або акумуляції унаслідок зміни кислотності ґрунтів під дією пірогенного чинника.

Отже, дослідженню відновлення ґрунтів лісових екосистем приділяється недостатньо належної уваги, у той час, як саме цей чинник є визначальним при висаджуванні молодих рослин для відтворення лісової екосистеми.

Мета дослідження – пошук способів покращення властивостей ґрунту лісових екосистем після дії пірогенного чинника: запропонувати технологічні заходи з відновлення якостей та покращення властивостей ґрунту екосистеми; довести ефективність використання глини в очищенні ґрунту у якості сорбенту.

Об'єкти і методи досліджень

Запропоновано внесення глини, як потенційного сорбенту для очищення родючих ґрунтів від важких металів. Для проведення експерименту обрано глини Харківського регіону, глинисті матеріали яких можна успішно використовувати в адсорбційних технологіях очищення. Завданням експериментального дослідження стало обґрунтування можливості застосування дешевої природної глинистої сировини без

попередньої її активації для вилучення ВМ з ґрунтового розчину.

Об'єктом дослідження обрана глина Пересічянського родовища Харківської області. Сорбційна активність зразків обраної глини вивчалася по відношенню до іонів ВМ: Pb (II), Cu (II), Cr (VI). Хімічний склад глини з розміром глинистих частинок близько 10 мкм представлений наступними оксидами (табл. 1).

Рентгенофазним аналізом встановлено, що масова частка монтморилоніту (спрощена хімічна формула: $(\text{Na}, \text{Ca})_{0,3}(\text{Al}, \text{Mg})_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}] (\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ у дослідженому зразку глини невелика і становить близько 20 %. Характерною особливістю глини із монтморилонітом є сильне набухання у присутності води. Монтморилонітові глини мають різко виражені колоїдні, у тому числі сорбційні властивості [17].

У Харківському регіоні достатньо родовищ, глини яких, може стати адсорбентом ВМ та інших токсичних компонентів (табл. 2).

Для визначення мінерального складу глини використовували рентгенофазовий аналіз, який проводили на рентгенівському дифрактометрі ДРОН-3.

Для сорбції ВМ можна також рекомендувати сапонітові глини, що виявлені в Україні на західному схилі Українського щита у Хмельницькій області. Сапоніт – природний сорбент, володіє високими адсорбційними, іонообмінними, каталітичними та фільтраційними властивостями. Надзвичайно високі властивості сорбції мають бентонітові глини, яких в Україні 110 родовищ [17].

Таблиця 1

Хімічний склад глини Пересічнянського родовища, мас.% [7]

Компонент	Вміст, %	Компонент	Вміст, %
SiO ₂	55,6	CaO	5,08
Fe ₂ O ₃	5,9	MgO	2,36
K ₂ O	3,3	FeO	1,4
P ₂ O ₅	0,05	Na ₂ O	4,76
Al ₂ O ₃	15,4		

Таблиця 2

Основні родовища глини у Харківському регіоні [17]

Родовище	Використання	Запаси
Басищівське	для бетону, силікатної цегли, будівельних сумішей	24408 тис. м ³
Камплицьке	для силікатної цегли, буд розчинів	91053 тис. м ³
Пересічнянське	для силікатної цегли	10305 тис. м ³
Семенівське	для бетону, будівельних сумішей	15813 тис. м ³
Шебелинське	для силікатної цегли	749 тис. м ³
Суша Кам'янка	глинясті (вохра жовта)	320,6 тис. м ³

У розвинених країнах щорічно використовують сотні тисяч тон сорбентів. У нашій державі природні сорбенти поки не отримали належного визнання. Більшість родовищ природних сорбентів до цього часу не знайшли промислового використання. Кристалічна структура мінералів групи монтморилоніт-сапонітів складається з двох шарів ненасичених форм: двох тетраедричних решіток SiO₂ і однієї октаедричної решітки, розташованої між ними, і яка містить в основному, Al, Mg, Fe. Між цими трьома шарами кристалічної решітки може відбуватися ізоморфний об-

мін. Тому мінерали групи монтморилонітів володіють високими адсорбційними і іонообмінними властивостями [17]. Розчинені іони ВМ адсорбуються на поверхні твердого тіла у вигляді іонів (тобто відбувається іонна адсорбція).

Для визначення адсорбційних властивостей глини, сорбцію ВМ проводили при постійній температурі (20 °C) з розчинів, що містять ґрунт із згарища та глину. Тривалість сорбції була в межах 60 хвилин. Концентрацію іонів ВМ визначали методом атомно-адсорбційного аналізу.

Результати та обговорення

Глина Пересічнянського родовища Харківської області не має яскраво виражених адсорбційних властивостей. Але результати свідчать, що навіть ця глина може бути рекомендована для меліоративних цілей і відновлення ґрунту після лісових по-

жеж, оскільки спостерігається поглинання ВМ. Навіть при низькому співвідношенні ґрунту та глини спостерігається вилучення ВМ у обсязі 27–52 % (рис. 1).

Таким чином, доведено, що використання глини для вилучення ВМ є ефектив-

ним. Звичайно, слід враховувати і економічні показники. Слід використовувати лише глину, що територіально зручно розташована до ділянки, яка постраждала від пожежі і потребує рекультивацийних заходів.

Одним з ефективних методів видалення ВМ з ґрунту є також фітоекстракція, заснована на здатності деяких рослин поглинати токсичні компоненти з ґрунтів і накопичувати їх у своїх тканинах і, таким чином, очищати ґрунти. З літературних джерел відомо, що найвищою поглинальною здатністю ВМ володіє кульбаба звичайна (*Taraxacum officinale*) [19].

Для оцінки ефективності цих фітоекстракторів в умовах постпірогенної релаксії, проведено експериментальне дослідження акумуляції ВМ в біомасі рослин, висаджених

на згарищі. Проби рослин висушувалися до повітряно-сухого стану, а потім були мінералізовані у муфельній печі при температурі 450°C. Після розчинення мінеральної проби визначено вміст у них ВМ. Дослідні рослини було вирощено на свіжому згарищі та на додатковій ділянці, на яку було додано досліджену глину масою 250 г/м². Результати досліджень поглинальної здатності кульбаби звичайної наведено в табл. 3.

Отже, проведеним експериментом доведено ефективність як використання глини, так і фітореMediaцію кульбаби звичайної по відношенню до ВМ. Обидва, і технічний і біологічний метод сорбції ВМ для підготовки ґрунту для висадження рослин, можна рекомендувати для відтворення лісової екосистеми після пожежі.

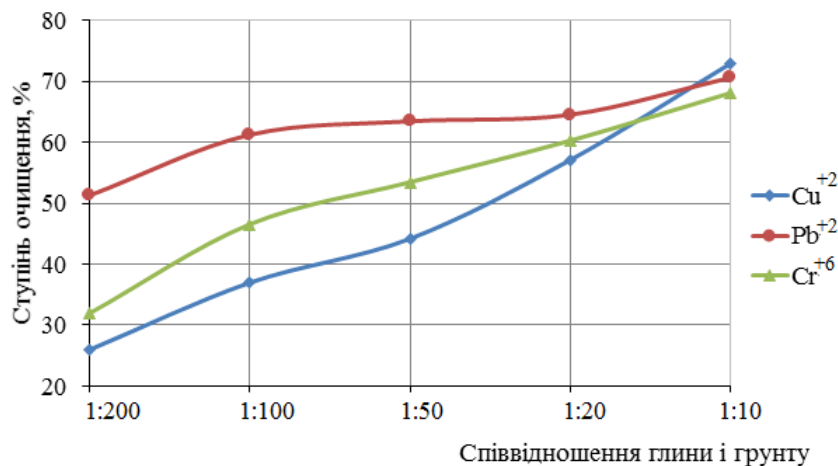


Рис. 1 – Ступінь очищення буферної витяжки з ґрунту від ВМ глиною, % (мас)

Таблиця 3

Ефективність фітоекстракції важких металів за допомогою кульбаби звичайної

Важкі метали	ГДК, мг/кг	У ґрунті після пожежі, мг/кг	Поглиняльна здатність, мг/кг сухого зразку маси рослин	
			Вирощено на згарищі	Вирощено на згарищі із додаванням глини для сорбції ВМ
Cu	3	1,9	1,7	0,82
Pb	20	6,1	4,9	2,6
Cr	0,05	0,44	0,32	0,11

Завершальний етап постпірогенної релаксії ґрунтів при лісовідновленні проводиться з метою визначити чи відповідає створений кореневмісний горизонт встановленим вимогам, чи правильно виконані меліоративні та протиерозійні роботи. Властивості і структура верхнього ґрунтового шару визначається тим, який саме спосіб освоєння

відтвореної території є цільовим.

Технологічні заходи з відновлення якостей та покращення властивостей ґрунту екосистеми. Технологічні заходи включають в себе і ряд витрат, які виконуються для проведення відновлювальних робіт:

– виконання проектно-вишукувальних робіт, включаючи польові дослідження;

- виконання державного екологічного дослідження (моніторингу);
- очищення постраждалої ділянки від пошкоджених дерев;
- рекультивація родючості ґрунтів відновлювальних територій, що передбачені проектуванням відновлення, в залежності від характерних особливостей ушкоджень ділянок і подальшого застосування відновлюваних територій.

Насамперед, слід провести моніторинг ураженої пожежею ділянки, незалежно чи це степова екосистема, водно-болотні угіддя чи лісовий масив, і лише потім проводити рекультивацію постраждалих від природних пожеж ділянок.

Рекультивація включає комплекс спеціальних заходів, спрямованих на відновлення господарської цінності і продуктивності

- земель. Відсутність такої роботи призводить:
- до руйнування верхнього родючого шару ґрунту;
- утворенню нових, штучно створених форм рельєфу, не характерних для даної місцевості;
- зникнення з ареалу звичних видів фауни і флори;
- зміни гідрологічного режиму території;
- забруднення продуктами горіння;
- акумуляції ВМ та інших токсичних сполук, що надходять у ґрунт із золюю.

З урахуванням значної шкоди масових пожеж у лісах пропонуємо розкрити технологічний процес з відновлення ґрунтів на прикладі лісових екосистем. Рекультивацію лісових ділянок слід проводити у декілька етапів (рис. 2), а також наводимо головні принципи рекультивації (рис. 3).

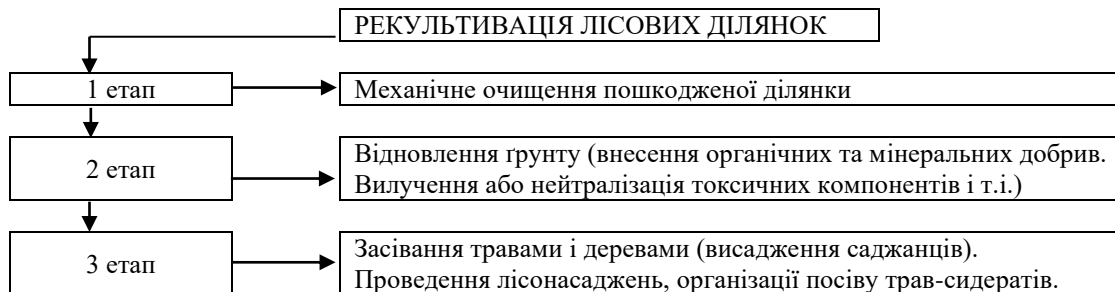


Рис. 2 – Етапи рекультивації лісових ділянок, що зазнали впливу пірогенного чинника

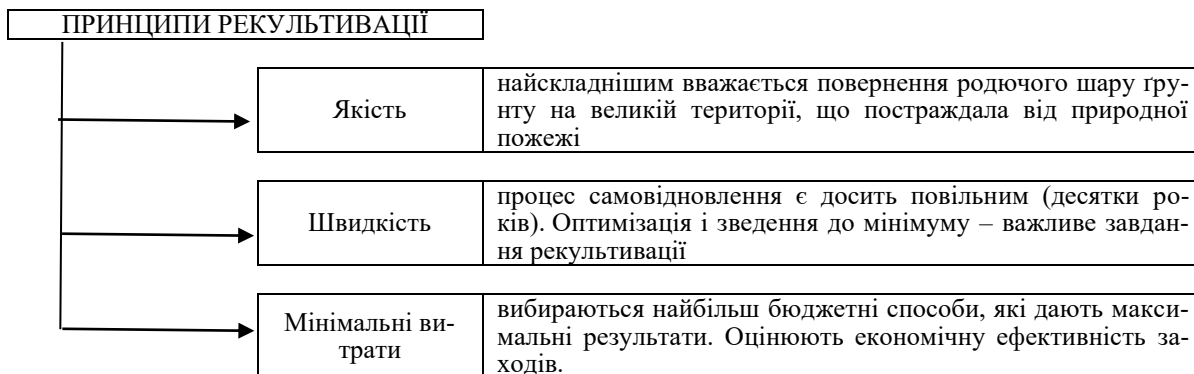


Рис. 3 – Головні принципи рекультивації ґрунтів, пошкоджених при впливові пірогенного чинника

Відновлення екосистем – процес тривалий і досить трудомісткий, тим більше в умовах техногенного навантаження. Він може проводитися протягом декількох років або навіть десятиліть. При цьому процедуру рекультивації можна розділити на три етапи: підготовчий, технічний і біологічний (рис. 4).

Підготовчий етап полягає в опрацюванні фактичного обсягу робіт, обґрунтування інвестиційної складової.

Технічний етап є головною частиною всіх проведених заходів, які виконуються для підготовки землі до її подальшого застосування. У даній галузі роботи ведуться за деякими складовими: теплотехнічні, гідротехнічні, хімічні.

Біологічна рекультивація земель являє собою, комплекс заходів, у якому беруть участь агротехнічні та фітомеліоративні процеси, саме вони повертають біохімічні, агрофізичні і агрохімічні характеристики

ки ґрунту. У частині біологічної рекультивациі мається на увазі проведення комплексу дій, спрямованих на поліпшення структури відновлюваних земель. Серед них застосовується: озеленення, меліорація земель, біологічне очищення ґрунту, лісопосадкова діяльність.

Як зазначалося, при виявленні у ґрунті після пожежі підвищеної кількості ВМ, які будуть створювати фітотоксичний ефект на молоді саджанці застосовують такі методи рекультивациі [7]:

- видалення забрудненого шару;
- інактивація або зниження токсичної дії поллютантів за допомогою іонообмінних смол, органічних речовин, що утворюють хелатні сполуки;
- вапнування, внесення органічних добрив, що сорбують поллютанти і знижують їх надходження у рослини;
- внесення мінеральних добрив (наприклад фосфатних, що знижують токсичну дію свинцю, міді, цинку, кадмію за рахунок утворення важкорозчинних фосфатів);

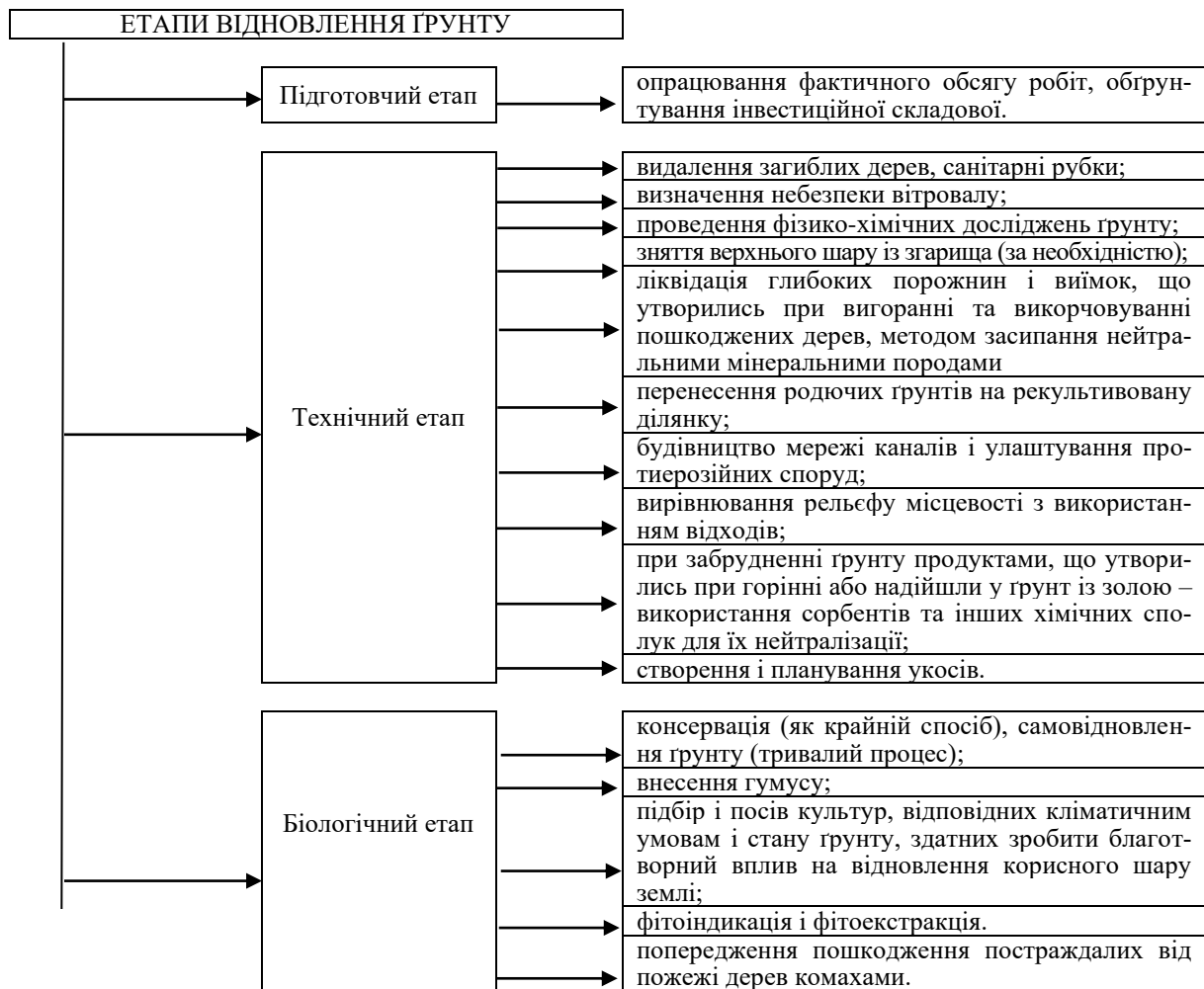


Рис. 4 – Етапи рекультивациі з відновлення ґрунту після лісової пожежі

– вирощування культур, стійких до забруднення і здатних до сорбції ВМ (фіторемедіація).

У разі, якщо ґрунти на відновлюваній території забруднені ВМ та іншими небезпечними речовинами, вони також підлягають попередньому очищенню за допомогою сорбентів. Весь процес відновлення може займати багато років. Проводиться він під наглядом санітарних служб і фахівців з ре-

культивациі. У даний час у світовій практиці для екологічного рафінування родючих ґрунтів все більше застосування знаходять мінеральні алюмосилікатні адсорбенти: різні глини, цеоліти, цеолітвмісні породи і т.і., які характеризуються високою поглинальною здатністю, стійкістю до впливу чинників навколишнього середовища і можуть служити прекрасними носіями для закріплення на поверхні різних токсичних сполук [7].

Висновки

Запропоновані технологічні заходи з відновлення якостей та покращення властивостей ґрунтів екосистем включають в себе виконання проектно-вишукувальних робіт, польові дослідження; державного екологічного дослідження (моніторингу); очищення постраждалої ділянки від пошкоджених дерев; рекультивацию родючості ґрунтів відтворюваних територій, що передбачені прое-

ктуванням відновлення, в залежності від характерних особливостей ушкоджених ділянок і подальшого використання цих територій. При постпірогенній релаксії екосистем, в умовах техногенного навантаження, доведено ефективність використання глини в очищенні ґрунту як сорбента та фіторе mediaції за допомогою кульбаби звичайної по відношенню до важких металів.

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.

Література

1. Андреев Ю. А. Влияние антропогенных и природных факторов на возникновение пожаров в лесах и населенных пунктах. Автореф. дисс. ... докт. техн. наук: 05.26.03. Москва, 2003. 50 с. URL: <https://www.disscat.com/content/vliyanie-antropogennykh-i-prirodnykh-faktorov-na-vozniknovenie-pozharov-v-lesakh-i-naselenny/read>
2. Vacchiano G., Foderi C., Berretti R., Marchi E., Motta R. Modeling anthropogenic and natural fire ignitions in an inner-alpine valley. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2018. Vol. 18. No 3. P.935-948. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-18-935-2018>
3. Буц Ю. В. Систематизація процесів пірогенної релаксації екогеосистем в умовах техногенного навантаження. *Екологічна безпека*. 2018. № 1(25). С. 7-12. DOI: <https://doi.org/10.30929/2073-5057.2018.1.7-12>
4. Крайнюк О. В., Буц Ю. В. Міграційна здатність свинцю у ґрунтах Харківщини під впливом пірогенного фактора. *Треті сумські наукові географічні читання: матеріали наук. конф. (м. Суми, 10-12 жовт. 2018 р.)*. Суми: СумДПУ імені А.С.Макаренка, 2018. С. 128-131.
5. Крайнюк О. В., Буц Ю. В., Некос А. Н. Природна пожежа в Рівненському заповіднику та її аналіз *VinSmartEco: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (м. Вінниця, 16-18 травня 2019 р.)*. Вінниця, 2019. С. 25-26.
6. Buts, Y., Asotskyi, V., Kraynyuk, O., Ponomarenko, R. (2019). Dynamics of migration capacity of some trace metals in soils in the Kharkiv region under the pyrogenic factor *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*. 2019. 28(3), 409-416. DOI: <https://doi.org/10.15421/111938>
7. Буц Ю. В. Науково-методологічні основи релаксії екогеосистем при техногенному навантаженні пірогенного походження. Автореф. ... докт. техн. наук: 21.06.01. Суми, 2020. 46 с. URL: <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/76266>
8. Несговорова Н. П., Савельев В. Г., Иванцова Г. В. Изучение проблемы лесных пожаров как фактора экологической опасности: региональный аспект. *Фундаментальные исследования*. 2014. № 12-6. С.1207-1211. URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=36302> (дата звернення 28.10.2020).
9. Gordon J. S., Willis J. L., Grala R. K. Public and forest landowner attitudes towards longleaf pine ecosystem restoration using prescribed fire. *Canadian Journal of Forest Research*. 2020. Т. 50. №. 9. P. 917-924. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2019-0415>
10. Barnett J. P. Longleaf pine ecosystem restoration: the role of fire. *Journal of Sustainable Forestry*. 1999. Т. 9. №. 1-2. P. 89-96. URL: https://doi.org/10.1300/J091v09n01_07
11. Tartarino P., Greco R., Silva J. S. Overstory Effects on the Understory of Aleppo Pine Plantations—Implications for Ecosystem Restoration. *Forests*. 2020. Т. 11. №. 6. С. 664. <https://doi.org/10.3390/f11060664>
12. Remm L., Lõhmus A., Leibak E., Kohv M., Salm J.-O., Lõhmus P., Rosenvald R., Runnel K., Vellak K., Rannap R. Restoration dilemmas between future ecosystem and current species values: The concept and a practical approach in Estonian mires. *Journal of environmental management*. 2019. Т. 250. 109439. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109439>
13. Selles O. A., Rissman A. R. Content analysis of resilience in forest fire science and management. *Land Use Policy*. 2020. Vol. 94. DOI: <https://doi.org/10.016/j.landusepol.2020.104483>
14. Wang L., Fu Q. Soil quality assessment of vegetation restoration after a large forest fire in Daxing'anling, northeast China. *Canadian Journal of Soil Science*. 2020. Т. 100. №. 2. P. 162-174. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjss-2019-0013>.
15. Asotskyi V., Buts Y., Kraynyuk O., Ponomarenko R. Post-pyrogenic changes in the properties of grey forest podzolic soils of ecogeosystems of pine forests under conditions of anthropogenic loading. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2018. Vol. 27. No 2. P. 175-183. DOI: <https://doi.org/10.15421/111843>

16. Buts, Y., Asotskyi, V., Kraynyuk, O., Ponomarenko, R. (2018). Influence of technogenic loading of pyrogenic origin on the geochemical migration of heavy metals. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 2018. Vol. 27. No 1. P. 43-50. DOI: <https://doi.org/10.15421/111829>
17. Михайлов В. А. Неметалічні корисні копалини України. 2-ге видання. К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет». 2008. 494 с.

References

1. Andreev, Yu. A. (2003). Influence of anthropogenic and natural factors on the occurrence of fires in forests and settlements. (Master's thesis). Moscow: FGBU VNIPO of EMERCOM of Russia. Retrieved from <https://www.disscat.com/content/vliyanie-antropogennykh-i-prirodnykh-faktorov-na-vozniknovenie-pozharov-v-lesakh-i-naseleennykh> (in Russian).
2. Vacchiano, G., Foderi, C., Berretti R., Marchi, E. & Motta, R. (2018). Modeling anthropogenic and natural fire ignitions in an inner-Alpine valley. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(3), 935-948. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-935-2018>
3. Buts, Y. (2018). Systematization of processes of pyrogenic relaxation of ecogeosystems in conditions of technogenic loading. *Ecological safety*, 1(25), 7-12. <https://doi.org/10.30929/2073-5057.2018.1.7-12> (in Ukraine).
4. Krainiuk, O.V. & Buts, Yu.V. (2018). Migration ability of plumbum in soils of Kharkiv region under the influence of pyrogenic factor. *Proceedings of the Ukrainian Scientific Conference: Third Sumy Scientific Geographical Readings*, Sumy, 2018, October 10-12, (pp.128-131). Sumy: Sumy State Pedagogical University named after A.S. Makarenko. (in Ukraine).
5. Krainiuk, O.V., Buts, Yu.V. & Nekos, A.N. (2019). Natural fire in the Rivne Reserve and its analysis. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference: VinSmartEco*, Vinnitsa, 2019, May 16-18, (pp. 25-26). Vinnitsa. (in Ukraine).
6. Buts, Y., Asotskyi, V., Kraynyuk, O. & Ponomarenko, R. (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>
7. Butz, Yu. V. (2020). Scientific and methodological bases of relaxation of ecogeosystems at technogenic loading of pyrogenic origin. (Master's thesis). Sumy: Sumy State University. Retrieved from <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/76266> (in Ukraine).
8. Neshovorova, N.P., Saveliev, V.G. & Yvantsova G.V. (2014). Investigation of the problem of forest fires as a factor of ecological danger: the regional aspect. *Fundamental Research*, 12 (6). 1207-1211. Retrieved from <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=36302> (in Russian).
9. Gordon, J.S., Willis, J.L. & Grala, R.K. (2020). Public and forest landowner attitudes towards longleaf pine ecosystem restoration using prescribed fire. *Canadian Journal of Forest Research*, 50(9), 917-924. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2019-0415>
10. Barnett, J.P. (1999). Longleaf pine ecosystem restoration: the role of fire. *Journal of Sustainable Forestry*, 9(1-2), 89-96. https://doi.org/10.1300/J091v09n01_07
11. Tartarino, P., Greco, R. & Silva, J. S. (2020.) Overstory Effects on the Understory of Aleppo Pine Plantations—Implications for Ecosystem Restoration. *Forests*, 11(6), 664. <https://doi.org/10.3390/f11060664>
12. Remm, L., Lõhmus, A., Leibak, E., Kohv, M., Salm, J.-O., Lõhmus, P., Rosenvald, R., Runnel, K., Vellak, K. & Rannap R. (2019). Restoration dilemmas between future ecosystem and current species values: The concept and a practical approach in Estonian mires. *Journal of environmental management*, 250, 109439. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109439>
13. Selles, O.A. & Rissman, A.R. (2020). Content analysis of resilience in forest fire science and management. *Land Use Policy*, (94), 104483. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104483>
14. Wang, L. & Fu, Q. (2020). Soil quality assessment of vegetation restoration after a large forest fire in Daxing'anling, northeast China. *Canadian Journal of Soil Science*, 100(2), 162-174. <https://doi.org/10.1139/cjss-2019-0013>
15. Asotskyi, V., Buts, Y., Kraynyuk, O. & Ponomarenko, R. (2018). Post-pyrogenic changes in the properties of grey forest podzolic soils of ecogeosystems of pine forests under conditions of anthropogenic loading. *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*, 27(2), 175-183. <https://doi.org/10.15421/111843>
16. Buts, Y., Asotskyi, V., Kraynyuk, 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>
17. Mikhailov, V.A. (2008). Non-metallic minerals of Ukraine. 2nd edition. Kyiv: Publishing and Printing Center «Kyiv University». (in Ukraine).

Надійшла: 25.09.2020

Прийнята: 20.10.2020

УДК (UDC): 574.64:504.064

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-23-05>

О. М. КРАЙНЮКОВ¹, д-р геогр. наук, проф., **І. А. КРИВИЦЬКА¹**

¹ Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
майдан Свободи, 6, м. Харків, 61022, Україна

e-mail: alkraynukov@gmail.com
ivkrivitska@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5264-3118>
<https://orcid.org/0000-0003-4727-794X>

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ КАПСУЛЮВАННЯ ДІОКСИДУ КРЕМНІЮ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ НАФТОЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ

Мета. Апробація методу капсулювання діоксиду кремнію для відновлення біологічної повноцінності забрудненого нафтопродуктами ґрунту.

Методи. Інкапсулюючий розчин виготовлено з використанням силікату натрію (7% мас./об.) в якості основного компонента і синтетичної поверхнево-активної речовини (додецилсульфат натрію). Для відновлення забрудненого ґрунту використовувалося співвідношення компонентів розчину задля обробки 1:1, 1:2, 1:3 та 1:4 для силікату натрію і додецилсульфату натрію відповідно. Фітотоксичність забрудненого нафтопродуктами ґрунту визначали шляхом біотестування водних витяжок з ґрунту.

Результати. Найбільш оптимізованим для використання з досліджуваних співвідношень компонентів є розчин – 1 частина силікат натрію та 2 частини додецилсульфату натрію. Найменший фітотоксичний ефект (17%) зафіксовано при рН 5 обробленого ґрунту та співвідношенні компонентів розчину 1:2 (силікат натрію / додецилсульфат натрію). В експериментах використано 2 види однодольних (овес, кукурудза) і 2 види дводольних рослин (салат, редька чорна).

Висновки. Технологія капсулювання діоксиду кремнію при обробці нафтозабруднених ґрунтів розчином силікату натрію та додецилсульфату натрію є досить економічно привабливою. Матеріал, що утворюється в результаті процесу інкапсуляції, висихає, утворюючи аморфний кремнеземний матеріал, всередині якого, на нашу думку, акумулюються вуглеводні і важкі метали, але для такого твердження необхідні подальші дослідження.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: нафтопродукти, ґрунт, вуглеводні, діоксид кремнію, інкапсуляція

Krainiukov O. M.¹, Kryvytska I. A.¹

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

USE OF SILICON DIOXIDE ENCAPSULATION METHOD FOR RESTORATION OF OIL-POLLUTED SOILS

Purpose. Aprrobation of the method of encapsulation of silicon dioxide to restore the biological value of oil-contaminated soil.

Methods. The encapsulating solution was prepared using sodium silicate (7% w. / vol.) as the main component and a synthetic surfactant (sodium dodecyl sulfate). To restore the contaminated soil, a treatment solution ratio of 1:1, 1:2, 1:3 and 1:4 was used for sodium silicate and sodium dodecyl sulfate, respectively. Phytotoxicity of oil-contaminated soil was determined by biotesting aqueous extracts from the soil.

Results. The most optimized for use from the studied ratios of substances is a solution consisting of 2 parts: sodium silicate and sodium dodecyl sulfate. The lowest phytotoxic effect (17%) was recorded at pH of 5 of the treated soil and the ratio of solution components 1:2 (sodium silicate / sodium dodecyl sulfate). In the experiments, 2 species of monocotyledons (oats, corn) and 2 species of dicotyledonous plants (lettuce, black radish) were used.

Conclusions. The technology of encapsulation of silicon dioxide in the treatment of oil-contaminated soils with a solution of sodium silicate and sodium dodecyl sulfate is quite economically attractive. The material formed as a result of the encapsulation process dries, forming an amorphous silica material, within which, in our opinion, hydrocarbons and heavy metals accumulate, but further research is needed for such a statement.

KEY WORDS: oil products, soil, hydrocarbons, silicon dioxide, encapsulation

© Крайнюков О. М., Кривицька І. А., 2020



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/).

Крайнюков А. Н.¹, Кривицкая И. А.¹

¹Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина

пл. Свободы 6, г. Харьков, 61022, Украина

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КАПСУЛИРОВАНИЯ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ ДЛЯ ВОСТА- НОВЛЕНИЯ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ

Цель. Апробация метода капсулирования диоксида кремния для восстановления биологической полноценности загрязненного нефтепродуктами грунта.

Методы. Инкапсулирующий раствор изготовлен с использованием силиката натрия (7% масс./об.) в качестве основного компонента и синтетического поверхностно-активного вещества (додецилсульфата натрия). Для восстановления загрязненной почвы использовалось соотношение раствора для обработки 1:1, 1:2, 1:3 и 1:4 для силиката натрия и додецилсульфата натрия соответственно. Фитотоксичность загрязненного нефтепродуктами грунта определяли путем биотестирования водных вытяжек из почвы.

Результаты. Наиболее оптимизированным для использования для исследуемых соотношений веществ является раствор – 1 часть силикат натрия и 2 части додецилсульфата натрия. Наименьший фитотоксический эффект (17%) зафиксирован при pH 5 обработанного грунта и соотношении компонентов раствора 1:2 (силикат натрия/додецилсульфат натрия). В экспериментах использованы 2 вида однодольных (овес, кукуруза) и 2 вида двудольных растений (салат, редька черная).

Выводы. Технология капсулирования диоксида кремния при обработке нефтезагрязненных почв раствором силиката натрия и додецилсульфата натрия является достаточно экономически привлекательной. Материал, который образуется в результате процесса инкапсуляции, высыхает, образуя аморфный кремнеземный материал, внутри которого, по нашему мнению, аккумулируются углеводороды и тяжелые металлы, но для такого утверждения необходимы дальнейшие исследования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нефтепродукты, почва, углеводороды, диоксид кремния, инкапсуляция

Вступ

Вуглеводневе забруднення геологічно-го та суміжних з ним середовищ має свої особливості за характером впливу на геосистеми у зв'язку з тим, що нафтопродукти мають багатоконпонентний різноманітний хімічний склад. Основними характеристиками складу нафтопродуктів, які визначають їх вплив на екологічний стан території і на біотичну складову екосистем, є вміст легкої фракції циклічних вуглеводнів, твердих парафінів, смол, асфальтенів та сірки. Легка фракція нафтопродуктів – це прості низькомолекулярні метанові (алкани), нафтенові (циклопарафіни) та ароматичні вуглеводні. Метанові вуглеводні, володіючи наркотичними властивостями, чинять токсичну дію на ґрунтові і водні організми. До циклічних належать нафтенові та ароматичні вуглеводні. Загальний вміст нафтенових вуглеводнів у складі нафтопродуктів змінюється від 35 до 60 %; вміст ароматичних вуглеводнів складає від 20 до 40 %, основна маса яких належить бензолу. Ароматичні вуглеводні – найбільш токсичні компоненти. Наслідки вуглеводневого забруднення природного середовища визначаються сукупністю факторів: кількістю та хімічним складом нафтопродуктів, характером взаємодії абіотичних умов та біотичної складової екосистем. Від сукупної дії цих факторів залежить, адаптується екосистема до вуглеводневого навантаження, чи буде деградувати [1].

При вуглеводневому забрудненні території створюються техногенні міграційні потоки нафтопродуктів, основне навантаження від яких приймають ґрунти, підземні та поверхневі води.

Вплив важких металів на якість та продуктивність ґрунту добре відомий [2,3]. Негативний вплив забруднення вуглеводнями на якість ґрунту та продуктивність є глобальним викликом. Такі параметри якості ґрунту, як катіонообмінна здатність, текстура, загальний фосфор, pH, загальний азот, органічний вуглець та вміст органічної речовини часто суттєво впливають на наявність вуглеводнів у ґрунті [4-6].

Завдяки стійкості вуглеводнів та важких металів у ґрунтах, вони перешкоджають росту рослин, впливають на продуктивність сільськогосподарських угідь. Тому для екологічної безпеки важливо застосовувати превентивні заходи та застосовувати підходи проти надмірного впливу таким чином, щоб захистити та відновити ґрунт для продуктивного використання навіть у випадках аварійного розливу вуглеводнів.

Різні методи використовувались не лише для відновлення забруднених вуглеводнями ґрунтів, але і для видалення важких металів із ґрунту. Деякі із таких методів видалення вуглеводнів включають біоремедіаційний підхід шляхом біостимуляції двоступеневої системи компостування у резервуа-

рах [7], біодеградацію нафтового мулу за допомогою нової двофазної системи компостування [8], хімічне окислення з подальшим компостуванням донного мулу в резервуарах [9], обробку поверхнево-активними речовинами, які посилюють санацію забруднених підземних вод вуглеводнями [10]. З іншого боку, деякі відомі методи видалення металів включають метод осадження з використанням лугу, отриманого із зелених відходів [11], вилучення важких металів із ґрунту за допомогою етилендіамінтетраоцтової та нітрило-триоцтової кислот [12]. Незважаючи на успішність вирішення проблеми у цих підходах, важливо дослідити методи, які одночасно вирішуватимуть як проблему вуглеводневого забруднення, так і надлишкового вмісту важких металів у ґрунті. Тому тривають дослідження з метою пошуку найбільш ефективної, екологічно чистої та економічно вигідної технології відновлення, яка одноча-

сно вирішить проблему забруднення ґрунтів вуглеводнями та важкими металами. Незважаючи на те, що очищення забруднених вуглеводнями територій, було широко досліджено з використанням декількох підходів із використання біоремедиації [4-11] та інших хімічних сполук та реагентів [13], технічні недоліки та відсутність екологічної сумісності вимагає подальших досліджень альтернативних варіантів санації, позбавлених існуючих недоліків.

Це вимагає дослідження технології капсулювання діоксиду кремнію, яка як очікується, буде економічно вигідною, екологічно чистою і легкою при практичному застосуванні.

Мета роботи – апробація методу капсулювання діоксиду кремнію для відновлення біологічної повноцінності забрудненого нафтопродуктами ґрунту.

Методи дослідження

Моделювання забруднення ґрунту нафтопродуктами (15%) було досягнуто шляхом ретельного змішування 150 г сирової нафти з 1 кг ґрунту. Змодельований ґрунт залишали на ніч для забезпечення належного змішування вуглеводнів із ґрунтовою матрицею. Для забруднення було використано нафту Бугроватівського родовища (Охтирський район Сумської обл.), ґрунт - чорнозем опідзолений важкосуглинковий на лесі.

Для дослідження процесу інкапсуляції було використано наступні реагенти - силікат натрію (Na_2SiO_3) і додецилсульфат натрію ($\text{NaC}_{12}\text{H}_{25}\text{SO}_4$), які було використано для відновлення біологічної повноцінності нафтозабруднених ґрунтів. Фітотоксичність забрудненого нафтопродуктами ґрунту ви-

значали шляхом біотестування водних вищих з ґрунту. Для визначення фітотоксичності ґрунту було використано рекомендований міжнародним стандартом набір рослин [14,15]. В експериментах було використано 2 види однодольних (овес, кукурудза) і 2 види дводольних рослин (салат, редька чорна), які мали найбільш ранню схожість та найменший період вегетації. Основними показниками згідно з [16], за якими проводили оцінку фітотоксичності ґрунтів, були: кількість пророслих рослин, довжина коренів та паростків. Враховували вірогідність відхилення значень цих критеріїв від контролю. Фітотоксичними вважались ґрунти, за результатами біотестування яких значення будь-якого з перелічених критеріїв вірогідно відрізнялось від контролю.

Результати та обговорення

Інкапсулюючий розчин було виготовлено з використанням силікату натрію (7% мас./об.) в якості основного компонента і синтетичної поверхнево-активної речовини (додецилсульфат натрію). Для відновлення забрудненого ґрунту використовувалося співвідношення розчину задля обробки 1:1, 1:2, 1:3 та 1:4 для силікату натрію і додецилсульфату натрію відповідно, 1 дм^3 розчину силікату натрію (500 см^3) і додецилсульфат натрію (500 см^3) було виготовлено разом в

змішаному обсязі. Це було зроблено шляхом створення оптимізованої концентрації силікату натрію 7% мас./об. і 7% мас./об. додецилсульфату натрію для забезпечення співвідношення 1:1 в обсязі 1 дм^3 . Інші концентрації було виготовлено аналогічним чином з урахуванням відповідних масових часток компонентів, розчини залишали відстоюватися для рівномірного розчинення і гомогенізації на одну добу. Вибір поверхнево-активної речовини був заснований на

його здатності до біологічного розкладання і аніонної природи. Силікатний розчин певної концентрації (1 л) вносили до 1 кг ґрунту, забрудненого сировою нафтою шляхом виливання і перемішування мішалкою. Всі зразки протягом 7 діб було витримано у

термоліюмностаті при 25°C, експеримент мав трикратну повторюваність.

Дані біотестування, отримані після обробки ґрунту, забрудненого сировою нафтою з використанням технології капсулювання кремнезема наведено нижче.

Таблиця

Результати визначення фітотоксичних властивостей ґрунтів (усереднені після 3 серій)

№	Зразки	Співвідношення обробки силікат натрію / додецилсульфат натрію	Рівні пригнічення ростових процесів (фітотоксичний ефект), %	Рівень забрудненості ґрунтів
1.	Ґрунт, забруднений сировою нафтою	-	83	дуже брудні
2.	Ґрунт, забруднений сировою нафтою та оброблений інкапсулюючим розчином	1:1	35	слабко забруднені
3.	Ґрунт, забруднений сировою нафтою та оброблений інкапсулюючим розчином (1:2)	1:2	17	незабруднені
4.	Ґрунт, забруднений сировою нафтою та оброблений інкапсулюючим розчином (1:3)	1:3	31	слабко забруднені
5.	Ґрунт, забруднений сировою нафтою та оброблений інкапсулюючим розчином (1:4)	1:4	42	помірно забруднені

Як видно з наведених результатів, найбільш оптимізованим для використання з досліджуваних співвідношень речовин є розчин – 1 частка силікат натрію та 2 частки додецилсульфату натрію.

Матеріал, що утворюється в результаті процесу інкапсуляції, висихає, утворюючи аморфний кремнеземний матеріал, всередині якого знаходяться інкапсульовані вуглеводні, та і як ми вважаємо, інші забруднюючі речовини (важкі метали та ін.).

В процесі проведення досліджень проаналізовано вплив рН забрудненого ґрунту та співвідношення компонентів інкапсулюючого розчину на фітотоксичний ефект (рис.). Водневий показник (рН) забрудненого ґрунту

дорівнював до обробки 4,7, а під час експерименту штучно варувався від 3 до 9 одиниць задля визначення оптимального значення рН при проведенні обробки інкапсулюючим розчином.

Найменший фітотоксичний ефект (17%) було зафіксовано при рН 5 обробленого ґрунту та співвідношенні компонентів розчину 1:2 (силікат натрію / додецилсульфат натрію). Оптимальне значення рН 5 знаходиться в тому ж діапазоні, що і значення рН забрудненого ґрунту, яке становить 4,7. Отже, при обробці ґрунту не виникає потреба у коректуванні рН.

Значення рН 5 узгоджується з дослідженнями [13], де повідомлялося, що інкап-

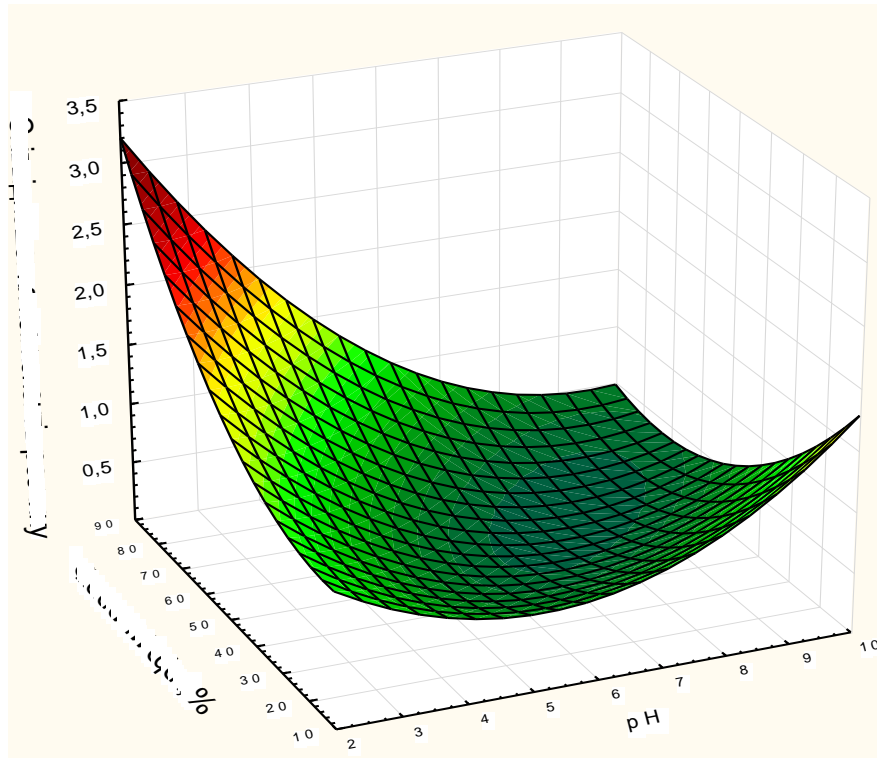


Рис. – Вплив рН забрудненого ґрунту та співвідношення компонентів інкапсулюючого розчину на фітотоксичний ефект

суляція вуглеводнів і металів діоксидом кремнію більш ефективна в діапазоні низьких кислотних значень рН (4-5). Діоксид кремнію не розчиняється в кислому діапазоні рН, що дозволяє йому випадати в осад при такому рН, що забезпечує ефективну інкапсуляцію забруднювача на відміну від лужних розчинів, де він стабільний.

Це підтверджує важливість використання поверхнево-активної речовини додецилсульфату натрію в якості агенту, який сприяє затвердженню та інкапсуляції вуглеводнів, оскільки він забезпечує кисле середовище для осадження діоксиду кремнію з розчину силікату натрію [17].

Висновки

Встановлено оптимальне співвідношення інкапсулюючого розчину силікату натрію та додецилсульфату (1:2), застосування якого знижує фітотоксичний ефект від нафтового забруднення ґрунтів із 82% до 17%. Оптимальним значенням рН ґрунту (5) в процесі капсулювання діоксиду кремнію є кисле середовище.

Технологія капсулювання діоксиду кремнію при обробці нафтозабруднених

Знижена кислотність корисна також для сільськогосподарських ґрунтів, оскільки вона впливає на доступність основних мінеральних елементів в ґрунті для поглинання і росту рослин.

Інкапсульовані вуглеводні не вилугуються і не вивільняються при подрібненні аморфного кремнеземного матеріалу. Внаслідок цього отриманий висушений аморфний кремнеземний матеріал може бути видалений з обробленої поверхні ґрунту шляхом механічної мийки та чищення, або внаслідок випадіння природних дощів чи відшаровування під впливом погодних умов без подальшого втручання, залишаючи очищеною поверхню ґрунту.

ґрунтів розчином силікату натрію та додецилсульфату натрію є досить економічно привабливою, якщо в результаті подальших досліджень буде підтверджена здатність цього розчину видаляти забруднюючі речовини з ґрунту. Ця технологія більш ефективна в порівнянні з біоремедіацією і іншими методами, тому що вартість інкапсулюючих матеріалів досить низька і для відновлення великого об'єму забрудненого ґрунту потрібен відносно невеликий об'єм

компонентів, які будуть сприяти відновленню нафтозабруднених ґрунтів.

Матеріал, що утворюється в результаті процесу інкапсуляції, висихає, утворюючи

аморфний кремнеземний матеріал, всередині якого, на нашу думку, акумулюються вуглеводні і важкі метали, але для такого твердження необхідні подальші дослідження.

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.

Література

1. Пиковский Ю. И. Геохимические особенности техногенных потоков в районах нефтедобычи. *Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состояние экосистем*. М.: Наука, 1981. 135 – 148.
2. Крайнюков О. М. Оцінка екологічної небезпеки забруднення нафтопродуктами ґрунтового покриву. *Захист довкілля від антропогенного навантаження*. 2007. №14(16). С. 210-219.
3. Edema N. E., Asagba S. O. Influence of nutrient supplementation on crude oil induced toxicity in Okra (*Abelmoschus esculentus*). *Nigerian Journal of Science and Environment*, 2007. Vol. 6. P. 58-66.
4. Akpoveta V. O., Egharevba F., Medjor O. W. A pilot study on the biodegradation of hydrocarbon and its kinetics on kerosene simulated soil *Int. J. Environ. Sci.*, 2011, Vol. 2. No 1. P. 54-67. URL: <http://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:ijes&volume=2&issue=1&article=005>
5. Akpoveta V. O., Egharevba F., Medjor O. W., Ize-Iyamu Microbial degradation and its kinetics on crude oil polluted soil *Res. J. Chem. Sci.*, 2011. Vol. 1. No 6. P. 2231-2606. URL: https://www.researchgate.net/profile/Akpoveta_Vincent/publication/288255562_Surfactant_enhanced_soil_wash-ing_technique_and_its_kinetics_on_the_remediation_of_crude_oil_contaminated_soil/links/573592d308ae9ace840aaa70/Surfactant-enhanced-soil-washing-technique-and-its-kinetics-on-the-remediation-of-crude-oil-contaminated-soil.pdf
6. Akpoveta V. O. Fenton oxidative mechanism and its kinetics on the remediation of soil contaminated with unrefined petroleum oil. *J. Chem. Soc. Niger.*, 2016. Vol. 41. No 2. P. 54-61. URL: <http://journals.chemsociety.org.ng/index.php/jcsn/article/view/71>
7. Koolivand A., Rajaei M. S., Ghanadzadeh M. J. , Saeedi R. Bioremediation of storage tank bottom sludge by using a two-stage composting system: effect of mixing ratio and nutrients addition. *Biores. Technol.*, 2017, Vol. 235. P. 240-249. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852417303814>
8. Koolivand A., Godini K., Saeedi R., Abtahi H., Ghamari F. Oily sludge biodegradation using a new two-phase composting method: kinetics studies and effect of aeration rate and mode. *Process Biochem.*, 2018. Vol. 79. P. 127-134. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359511318314144>
9. Koolivand A., Naddafi K., Nabizadeh R., Saeedi R. Optimization of combined in-vessel composting process and chemical oxidation for remediation of bottom sludge of crude oil storage tanks. *Environ. Technol.*, 2018. Vol. 39. No 20. P. 1-18. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09593330.2017.1362037>
10. Medjor O. W., Akpoveta O. V., Egharevba F. Kinetics and physicochemical studies of surfactant enhanced remediation of hydrocarbons contaminated groundwater. *Egypt. J. Petrol.*, 2018. Vol. 27. P. 169-176. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09593330.2017.1362037>
11. Akpoveta O.V. Kinetics of the treatment of heavy metals contaminated soils using locally sourced ash as a remediation technique. *Chemtec journal*. 2016. Vol. 11. P. 188-204. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110062116302604>
12. Naghipour D., Jaafari J., Ashrafi S. D., Mahvi A. H. Remediation of heavy metals contaminated silty clay loam soil by column extraction with ethylenediaminetetraacetic acid and nitrilo triacetic acid. *J. Environ. Eng.*, 2017. Vol. 143. No 8. P. 1-8. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343716302846>
13. Medjor O. W., Namessan O.N., Medjor E. A. Optimization, kinetics, physicochemical and ecotoxicity studies of Fenton oxidative remediation of hydrocarbons contaminated groundwater. *Egypt. J. Petrol.*, 2018. Vol. 27. P. 227-233. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110062117300387>
14. ISO 11269-1:2012 Soil quality – Determination of the effects of pollutants on soil flora – Part 1. Method for the measurement of inhibition of root growth. URL: <https://www.iso.org/standard/51388.html>
15. ISO 11269-2:2005 Soil quality – Determination of the effects of pollutants on soil flora – Part 2. Effects of chemicals on the emergence and growth of higher plants. URL: <https://www.iso.org/standard/36425.html>
16. Крайнюков О. М., Кривицька І. А. Спосіб визначення ступеня забрудненості ґрунтів: пат. 113560 Україна: МПК G01N 33/24 u201605283; ; заявл. 16.05.2016; опубл. 10.02.2017. Бюл. № 3. URL: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=232025>

17. Mbhele P.P. Remediation of Soil and Water Contaminated by Heavy Metals and Hydrocarbons using Silica Encapsulation. Unpublished Masters thesis. Department of Chemistry, University of the Witwatersrand, Johannesburg, South Africa, 2007, P. 54-61. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Remediation-of-soil-and-water-contaminated-by-heavy-Mbhele/fabbc50b78973f77c4bfb5741a57306a551ab0a4?p2df>

References

1. Pikovskiy, Yu. (1981). Geochemical features of technogenic flows in oil production areas // *Technogenic flows of matter in landscapes and the state of ecosystems*. Moscow: Nauka, 135. 148. (in Russian)
2. Krainyukov, O. (2007). Assessment of the ecological danger of soil pollution by oil products. *Protection of the Environment from Anthropogenic Load*, (14-16), 210-219. (in Ukrainian)
3. Edema, N.E. & Asagba, S.O. (2007). Influence of nutrient supplementation on crude oil induced toxicity in Okra (*Abelmoschus esculentus*). *Nigerian Journal of Science and Environment*, 6, 58-66.
4. Akpoveta, V.O., Egharevba, F. & Medjor, W.O. (2011). A pilot study on the biodegradation of hydrocarbon and its kinetics on kerosene simulated soil. *Int. J. Environ. Sci.*, 2 (1), 54-67. Retrieved from <http://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:ijes&volume=2&issue=1&article=005>
5. Akpoveta, V.O., Egharevba, F. & Medjor, O.W., (2011). Ize-Iyamu Microbial degradation and its kinetics on crude oil polluted soil. *Res. J. Chem. Sci.*, 1 (6), 2231-2606. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Akpoveta_Vincent/publication/288255562_Surfactant_enhanced_soil_washing_technique_and_its_kinetics_on_the_remediation_of_crude_oil_contaminated_soil/links/573592d308ae9ace840aaa70/Surfactant-enhanced-soil-washing-technique-and-its-kinetics-on-the-remediation-of-crude-oil-contaminated-soil.pdf
6. Akpoveta, V.O. (2016). Fenton oxidative mechanism and its kinetics on the remediation of soil contaminated with unrefined petroleum oil *J. Chem. Soc. Niger.*, 41 (2), 54-61. Retrieved from <http://journals.chemsociety.org.ng/index.php/jcsn/article/view/71>
7. Koolivand, A., Rajaei, M.S., Ghanadzadeh, M.J. & Saeedi, R. (2017). Bioremediation of storage tank bottom sludge by using a two-stage composting system: effect of mixing ratio and nutrients addition *Biores. Technol.*, 235, 240-249. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852417303814>
8. Koolivand, A., Godini, K., Saeedi, R., Abtahi, H. & Ghamari, F. (2018). Oily sludge biodegradation using a new two-phase composting method: kinetics studies and effect of aeration rate and mode. *Process Biochem.*, 79, 127-134. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359511318314144>
9. Koolivand, A., Naddafi, K., Nabizadeh, R., Saeedi, R. (2018). Optimization of combined in-vessel composting process and chemical oxidation for remediation of bottom sludge of crude oil storage tanks *Environ. Technol.*, 39 (20), 1-18. Retrieved from <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09593330.2017.1362037>
10. Medjor, O.W., Akpoveta, O.V., Egharevba, F. (2018). Kinetics and physicochemical studies of surfactant enhanced remediation of hydrocarbons contaminated groundwater *Egypt. J. Petrol.*, 27, 169-176. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejpe.2017.02.005>
11. Akpoveta, O.V. (2016). Kinetics of the treatment of heavy metals contaminated soils using locally sourced ash as a remediation technique. *Chemtec journal*, 11, 188-204. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110062116302604>
12. Naghipour, D., Jaafari, J., Ashrafi, S.D., Mahvi, A.H. (2017). Remediation of heavy metals contaminated silty clay loam soil by column extraction with ethylenediaminetetraacetic acid and nitrilo triacetic acid *J. Environ. Eng.*, 143 (8), 1-8. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343716302846>
13. Medjor, W.O., Namessan, O.N., Medjor, E.A. (2018). Optimization, kinetics, physicochemical and ecotoxicity studies of Fenton oxidative remediation of hydrocarbons contaminated groundwater *Egypt. J. Petrol.*, 27, 227-233. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110062117300387>
14. ISO 11269-1:2012 Soil quality – Determination of the effects of pollutants on soil flora – Part 1. Method for the measurement of inhibition of root growth. (2012). Retrieved from <https://www.iso.org/standard/51388.html>
15. ISO 11269-2:2005 Soil quality – Determination of the effects of pollutants on soil flora. Part 2. Effects of chemicals on the emergence and growth of higher plants. (2005). Retrieved from <https://www.iso.org/standard/36425.html>
16. Krainyukov, O., Kryvytska, I. (2017). Method of determining the degree of soil contamination. Patent of Ukraine for useful model. G01N 33/24 (2006.01). № 113560; declared 16.05.2016; published 10.02.2017, Bulletin, (3). Retrieved from <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=232025> (In Ukrainian).
17. Mbhele, P.P. (2007). Remediation of Soil and Water Contaminated by Heavy Metals and Hydrocarbons using Silica Encapsulation. (Masters thesis). *Department of Chemistry, University of the Witwatersrand, Johannesburg, South Africa*. Retrieved from <https://www.semanticscholar.org/paper/Remediation-of-soil-and-water-contaminated-by-heavy-Mbhele/fabbc50b78973f77c4bfb5741a57306a551ab0a4?p2df>

Надійшла: 30.09.2020

Прийнята: 20.10.2020

УДК (UDC): 504.064.4

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-23-06>

Т. А. САФРАНОВ¹, д-р г.-м. наук, проф., М. А. БЕРЛІНСЬКИЙ¹, д-р геогр. наук, проф.,
Д. М. ЗМІЄНКО¹

¹Одеський державний екологічний університет
вул. Львівська, 15, м. Одеса, 65016, Україна

e-mail: safranov@ukr.net
nberlinsky@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0928-5121>
<https://orcid.org/0000-0002-4576-4958>

e-mail: dzmienko99@gmail.com

ПЛАСТИК ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ПРИБЕРЕЖНОЇ ЗОНИ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я ЯК СКЛАДОВА МОРСЬКОГО СМІТТЯ

Мета. Оцінка масштабів утворення пластикових відходів в прибережній зоні Північно-Західного Причорномор'я та їх можливої ролі у формуванні морського сміття в акваторії Чорного моря.

Методи. Методологічною основою роботи є системний аналіз.

Результати. Щорічні обсяги у твердих побутових відходів у Північно-Західному Причорномор'ї можуть досягати 2,5 млн т/рік, а обсяги утворення відходів пластикових матеріалів – до 323 тис. т/рік. Незважаючи на ресурсну цінність пластикових відходів, натепер не існує визначеної системи поводження з ними і за цих умов вони видаляються на численні звалища (у тому числі, на несанкціоновані) твердих побутових відходів. Значна частина пластику (до 80%) із неорганізованих звалищ та інших берегових джерел забруднення виноситься повітряними і водними потоками в акваторію північно-західної частини Чорного моря. Визначено, що 83% морського сміття, виявленого в Чорному морі, становить пластик. В свою чергу, наявність морського сміття обумовлено недосконалістю системи поводження з твердими побутовими відходами. Домінуючим способом поводження з ними залишається їх вивезення і захоронення на сміттєзвалищах. Станом на 2019 рік в Одеській області налічувалося 528 звалищ, в Миколаївській області – 267, в Херсонській – 54. Майже 17% звалищ в Одеській області і 26% в Миколаївській області не відповідають нормам екологічної безпеки. Значна частина пластикових відходів, насамперед, із несанкціонованих звалищ твердих побутових відходів, повітряними потоками виноситься в річкову мережу, а у випадку близькості їх до прибережної смуги – безпосередньо в акваторію Чорного моря. Пластикові відходи виносяться з водозборів великих річок (Дунаю, Дністра, Південного Бугу і Дніпра), а також водозборів численних середніх і малих річок. Практично вся берегова смуга Північно-Західного Причорномор'я активно використовується в рекреаційних цілях і, отже, є джерелом формування пляжного сміття. Крім того, береговими джерелами надходження сміття можуть бути населені пункти, морегосподарські комплекси та сільськогосподарські угіддя, що розташовані вздовж прибережної смуги. Незначна частка пластикових відходів утворюється в межах морської акваторії (за рахунок судноплавства, рибальства тощо).

Висновки. Основною складовою морського сміття є пластик, оскільки на нього припадає 83% морського сміття, виявленого в Чорному морі. Макропластик може піддаватися тривалому переміщенню морськими течіями, вітрами, хвилями та становити пряму загрозу морській екосистемі. Напрями переміщення морського сміття залежать від генеральної циркуляції у поверхневому шарі Чорного моря. Процеси біодеградації макропластика утруднені в умовах морського середовища, а тому його трансформація обмежується процесами деструкції і диспергуванням до мікро- і наночастинок. Ураховуючи екологічну небезпеку мікропластику доцільно створити систему спостережень за його вмістом в морському середовищі. Для поліпшення екологічної ситуації в прибережній зоні Північно-Західного Причорномор'я необхідно істотно збільшити обсяги пластикових відходів, що утилізуються, а також ліквідувати чисельні звалища твердих побутових відходів, які не відповідають вимогам екологічної безпеки.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: тверді побутові відходи, пластик, морське сміття, джерела забруднення

Safranov T. A.¹, Berlinsky N. A.¹, Zmienko D. M.¹

¹Odesa State Environmental University, Lvivska St., 15, Odesa, 65016, Ukraine

PLASTIC OF THE SOLID DOMESTIC WASTE ON THE COASTAL ZONE OF THE NORTH-WESTERN PART OF THE BLACK SEA AS A COMPONENT OF MARINE LITTER

Purpose. To perform estimation the scale of the plastic waste area in the coastal zone of the North-Western part of the Black Sea and their role of the of pollution formation.

Methods. The key method is system analyses.

Results. The annual volume of solid waste in the North-Western Black Sea region can reach 2.5 million tons per year, and the volume of plastic litter - up to 323 thousand tons per year. In spite of plastic litter as the resource, at present there is no definite system for handling them, and under these conditions they are disposed of at numerous dumps (including unauthorized ones) of solid domestic wastes. A significant part of plastic (up to 80%) from unorganized landfills and from the other coastal pollution sources is carried out by air and water flows in the water area of the Northwestern part of the Black Sea. Approximately 83% of marine litter in the Black Sea is plastic. In turn, the presence of marine litter associated with the non-proper solid waste management system. The dominant way of waste management is their removal and disposal in landfills. As of 2019, in the Odessa region there were 528 landfills, in the Nikolaev region - 267, in the Kherson region - 54. Almost 17% of landfills in the Odessa region and 26% in the Nikolaev region do not comply according to environmental hazard standards. Significant part of the plastic litter, first of all from unauthorized solid waste dumps, is carried by air flows into the river network, and if they are close to the beach area, directly into the Black Sea. Plastic litter is carried out from the catchment areas of the large rivers (Danube, Dniester, Southern Bug and Dnieper), as well as water intakes of numerous medium and small rivers. Almost the whole beach area of the North-Western part of the Black Sea is actively used for recreational purposes and, therefore, is a source of beach waste. In addition, the coastal sources of garbage can be settlements, marine complexes and agricultural lands located along the coastal line. An insignificant share of plastic litter is generated within the sea area (from shipping, fishing, etc.).

Conclusions. The main component of marine litter is plastic, as it accounts for 83% of marine litter founded in the Black Sea. Macroplastics can be subject to long-term movement by the sea currents, winds, waves and poses a direct threat to the marine ecosystem. Directions of movement of marine litter depends on the processes of general circulation in the surface layer (0-500 m) of the Black Sea. The processes of biodegradation of macroplastic are hindered in the marine environment, and therefore its transformation is limited by the processes of destruction and dispersion in micro- and nanoparticles. Taking into consideration the environmental hazard of microplastics, it is advisable to create a system for monitoring in the marine environment. To improve the environmental situation in the coastal zone of the North-Western part of the Black Sea, it is necessary to significantly increase the volume of recycled plastic litter, as well as to eliminate numerous landfills for solid household waste that do not accord to environmental safety requirements.

KEYWORDS: municipal solid waste, plastic, marine litter, sources of pollution

Сафранов Т. А.¹, Берлинский Н. А.¹, Змиенко Д. М.¹

¹Одесский государственный экологический университет

ул. Львовская, 15, г. Одесса, 65016, Украина

ПЛАСТИК ТВЁРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИЧЕРНОМОРЬЯ КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ МОРСКОГО МУСОРА

Цель. Оценка масштабов образования пластиковых отходов в прибрежной зоне Северо-Западного Причерноморья и их роли в формировании морского мусора в акватории Черного моря.

Методы. Методологической основой работы является системный анализ.

Результаты. Ежегодные объемы твердых бытовых отходов в Северо-Западном Причерноморье могут достигать 2,5 млн т/год, а объемы образования отходов пластиковых материалов - до 323 тыс. т/год. Несмотря на ресурсную ценность пластиковых отходов, в настоящее время не существует определенной системы обращения с ними и при этих условиях они удаляются на многочисленные свалки (в том числе, на несанкционированные) твердых бытовых отходов. Значительная часть пластика (до 80%) из неорганизованных свалок и других береговых источников загрязнения выносятся воздушными и водными потоками в акватории северо-западной части Черного моря. В свою очередь, наличие морского мусора обусловлено несовершенством системы обращения с твердыми бытовыми отходами. Доминирующим способом обращения с ними остается их вывоз и захоронение на свалках. По состоянию на 2019 год в Одесской области насчитывалось 528 свалок, в Николаевской области - 267, в Херсонской - 54. Почти 17% свалок в Одесской области и 26% в Николаевской области не соответствуют нормам экологической опасности. Значительная часть пластиковых отходов, прежде всего, из несанкционированных свалок твердых бытовых отходов, воздушными потоками выносятся в речную сеть, а в случае близости их к прибрежной полосе - непосредственно в акваторию Черного моря. Пластиковые отходы выносятся из водосборов крупных рек (Дуная, Днестра, Южного Буга и Днепра), а также водозаборов многочисленных средних и малых рек. Практически вся прибрежная полоса Северо-Западного Причерноморья активно используется в рекреационных целях и, следовательно, является источником формирования пляжного мусора. Кроме того, береговыми источниками поступления мусора могут быть населенные пункты, морехозяйственные комплексы и сельскохозяйственные угодья, расположенные вдоль прибрежной полосы. Незначительная доля пластиковых отходов образуется в пределах морской акватории (за счет судоходства, рыболовства и т.д.).

Выводы. Основной составляющей морского мусора является пластик, поскольку на него приходится 83% морского мусора, обнаруженного в Черном море. Макропластик может подвергаться длительному перемещению морскими течениями, ветрами, волнами и представляет прямую угрозу морской экосистеме. Направления перемещения морского мусора зависят от генеральной циркуляции в поверхностном слое Черного моря. Процессы биодegradации макропластика затруднены в условиях морской среды, а потому его трансформация ограничивается процессами деструкции и диспергированием в микро- и наночастиц. Учитывая экологическую опасность микропластика целесообразно создать систему наблюдений за его содержанием в морской среде. Для улучшения экологической ситуации в прибрежной зоне Северо-Западного Причерноморья необходимо существенно увеличить объемы утилизируемых пластиковых отходов, а также ликвидировать многочисленные свалки твердых бытовых отходов, которые не отвечают требованиям экологической безопасности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: твердые бытовые отходы, пластик, морской мусор, источники загрязнения

Вступ

Однією з передумов забезпечення екологічної безпеки регіонів України є створення ефективної системи управління і поводження з відходами, зокрема, з твердими побутовими відходами (ТПВ). Ситуація в сфері управління та поводження з ТПВ в країні, як і раніше, залишається вкрай незадовільною. Внаслідок низького рівня утилізації ресурсоцінних компонентів ТПВ вони потрапляють на численні звалища, які є джерелами забруднення довкілля, а в прибережній зоні ПЗП ще і основним джерелом утворення морського сміття. Серед ресурсоцінних компонентів ТПВ особливе місце займає пластикові матеріали, для яких в регіонах України не існує визначеної системи поводження з ними. Тому оцінка масштабів генерації відходів пластикових матеріалів (ВПМ) в регіонах ПЗП як можливого джерела морського сміття, є актуальною екологічною і соціально-економічною проблемою.

Розрізняють термопластичні і терморезистивні пластикові матеріали. Термопластичні пластикові матеріали можна багато разів переплавляти або деформувати при нагріванні (наприклад, поліетилен, поліетилентерефталат, поліпропілен, полівінілхлорид, полістирол), в той час, як терморезистивні пластикові матеріали (наприклад, поліуретан, епоксидні смоли або покриття) не можуть бути переплавлені повторно. На ринку домінують чотири основні класи: поліетилен, поліетилентерефталат, поліпропілен і полівінілхлорид. Фізико-хімічні властивості, міцність, легкість і довговічність в поєднанні з низькою собівартістю пластикових матеріалів зумовили їх масштабне використання при виробництві широкого спектру виробів побутового призначення, в будівництві тощо. Світове виробництво пластикових матеріалів збільшилося з 2,3 млн. т в 1950 р. до 448 млн. т в

2015 р., а до 2050 р. ця величина може подвоїтися [1]. Потрапляння пластикових матеріалів в довкілля спостерігається на всіх стадіях їх життєвого циклу (видобуток ресурсів – виробництво – використання – поводження з відходами), але їх значна частка присутня у вигляді відходів. Постійне зростання масштабів світового виробництва і використання пластику зумовило істотне збільшення кількості ВПМ і лише невелика частина яких придатна для переробки з економічних або технічних міркувань. Наприклад, протягом 1950-2015 рр. з майже 5 млрд. т виробленого пластику лише 12% було перероблено (утилізовано), в той час, як 60% пластикових матеріалів виявлено в складі наземного і морського сміття [2]. 90% пластикових матеріалів, вироблених будь-коли, існують дотепер у вигляді ВПМ, і масштаби накопичення їх в складі наземного і морського сміття з кожним неухильно зростають.

Широке використання пластикових матеріалів призводить до їх фрагментації і утворення крихітних часток мікропластику розміром від 0,5 мм до 5,0 мм, які знаходяться в атмосферному повітрі, природних водах, ґрунтах, продуктах харчування та пероральним і/або інгаляційним шляхами потрапляють до організму людини. Первинний мікропластик – це дуже дрібні частинки пластику, які спеціально додають у вироблений продукт (гелі для душу, зубні паста та ін.), а вторинний мікропластик – дрібні частинки, що утворюються при руйнуванні більших шматочків (синтетичних фарб і тканин, автомобільних шин тощо). Дотепер вважалося, що мікропластик в продуктах харчування, питній воді і в повітряному басейні не становив загрози людському здоров'ю, але новітні дослідження показали, що потрапляння мікропластику в організм людини може привести до безлічі

захворювань (онкологічні, кровотворної системи, захворювання кишечника, ревматоїдний артрит, пошкодження генетичної інформації і ін.) [1].

Основною складовою морського сміття є ВПМ з суші, що і утворюються при переробці пластику, використанні пластикової упаковки, використанні пластику в сільському господарстві і будівництві, при здійсненні рекреаційної діяльності у межах прибережної смуги тощо. Спроби перетворення ВПМ на паливо зводяться до того, що одні відходи трансформуються в інші, оскільки при спалюванні пластику викиди містять *Hg*, *Pb*, *Cd* та інші важкі метали, стійкі органічні політанти (діоксини, фурани), шкідливі гази тощо. Спалювання пластикових матеріалів на відкритому повітрі становить серйозну загрозу для довкілля і здоров'я населення, тому Програма ООН з довкілля (UNEP) вважає це екологічно неприйнятним процесом.

Вважається, що джерелами морського сміття на 80% є наземні відходи виробництва та споживання і лише на 20% – відходи, що утворюються у межах морського басейну (судноплавство, рибальство і т. д.). Під впливом повітряних та водних потоків морське сміття дрейфує по поверхні або в товщі морської води, його важкі складові осідають на дно і накопичуються там, а частина прибивається хвилями до берегової лінії. Морське сміття переноситься на великі відстані від місця його утворення, забруднює значні площі Світового океану і негативно впливає на екологічні та соціально-економічні умови, а саме: є причиною травм або смерті, втрат прибутків і справжніх суспільних цінностей; спричиняє значні економічні збитки рибальству, аквакультури, судноплавству і сектору туризму; впливає на місця існування комерційно значимих промислових видів морських організмів, а також на добробут і збереження вразливих або вимираючих видів тощо [2].

До складу морського сміття входять ВПМ (поліетилен, поліетилентерефталат, полівінілхлорид, поліпропілен, комбіновані ма-

теріали на основі паперу і картону тощо), медичні відходи, сільськогосподарські відходи, деякі промислові відходи, сміття з суден, рибальські снасті тощо. Теоретично, майже всі ВПМ в кінцевому підсумку здатні до біодеградації навіть у відкритому середовищі, хоча у деяких цей процес займе сотні і більше років. Розгляд процесу біодеградації ВПМ в якості способу запобігання забруднення має практичний сенс, тільки якщо це пов'язано з «розумними» тимчасовими рамками. Процес біодеградації ВПМ особливо утруднений в умовах морського середовища, а тому їх трансформація обмежується, в основному, процесами фізико-хімічної деструкції і диспергування.

За аналогією з іншими частинами Світового океану можна припустити, що джерелом переважної частини (до 80%) морського сміття в північно-західній частині Чорного моря є відходи виробництва та споживання, що генеруються в прибережній зоні. Нагадаємо, за визначенням Європейської комісії, прибережна зона (*Coastal Zone*) – це смуга суші і моря, ширина якої варіює в залежності від характеру навколишнього середовища та завдань управління. Вона іноді співпадає з адміністративними межами або одиницями планування. Природні приморські системи і території, де людина здійснює свою діяльність, що тісно пов'язана з використанням ресурсів узбережжя, можуть сягати від міжприбережних вод набагато кілометрів вглиб суші. З урахуванням того, що Чорне море впливає на кліматичні умови південного узбережжя України (оскільки дія теплового моря взимку поширюється вглиб території України на 140 – 280 км), то територію Одеської, Миколаївської і Херсонської областей можна розглядати як прибережну зону ПЗП.

Метою дослідження є оцінка масштабів утворення відходів пластикових матеріалів в прибережній зоні ПЗВ та їх можливої ролі у формуванні морського сміття в акваторії Чорного моря.

Результати та обговорення

Методологічною основою роботи є критичний аналіз існуючої інформації щодо масштабів генерації ВПМ в прибережній зоні ПЗВ у зв'язку з оцінкою їх можливого внеску у формування морського сміття в акваторії Чорного моря. При виконанні роботи використані опубліковані дані вітчизняних і зарубіжних авторів, а також ма-

теріали власних доробок, присвячених дослідженню ВПМ і морського сміття.

Дослідженнями в рамках проекту EMBLAS-II [3] показано, що середня концентрація морського сміття в західній частині Чорного моря складала 23,0 шт./км², а в східній – 138,6 шт./км². Морфологічний склад морського сміття, виявленого в Чор-

ному морі, на 83% представлений ВПМ, а решта припадає на метал (9%), скло/кераміку (4%), папір/картон (3%), оброблену деревину (2%), гуму і тканини/текстиль (по 1%). Крім того, зафіксовані численні недопалки, обгортки від солодощів, пластикові пакети, пластикові кришки, пакети для чіпсів, пластикові пляшки, полістирольні шматочки тощо. Дані щодо наявності мікропластику в водній товщі, донних відкладах та берегових наносах північно-західній частині Чорного моря відсутні, а тому обґрунтування основних підходів, методів, методик відбору та аналізу проб мікропластику також є актуальною задачею.

Наявність морського сміття в акваторії Чорного моря, багато в чому, обумовлена недосконалістю системи поводження з відходами, зокрема, з потоками ТПВ в прибережній зоні ПЗП.

Одним із показників антропогенного впливу на прибережну зону ПЗП є масштаби утворення і накопичення ТПВ. За даними «Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року» [4], обсяги утворення ТПВ в Україні у 2016 р. становили 11 млн. т. Незважаючи на те, що протягом останніх 20 років чисельність населення України постійно скорочується, обсяги утворення ТПВ збільшуються. Показник утворення ТПВ в Україні становить, в сере-

дньому, 250-300 кілограмів щороку на людину і має тенденцію до зростання. Домінуючим способом поводження з ТПВ залишається, як і раніше, їх вивезення та захоплення на полігонах і сміттєзвалищах (а це 94% від загальної кількості). Станом на 2016 рік в Україні налічувалося 5470 звалищ (полігонів), з яких 305 (5,6 %) перевантажені, а 1646 одиниць (30%) не відповідають нормам екологічної безпеки. Крім того, щороку утворюється понад 27 тис. нових несанкціонованих сміттєзвалищ.

Станом на 2019 рік в Одеській області налічувалося 528 звалищ (полігонів), в Миколаївській області – 267, в Херсонській – 54. Причому, майже 17% звалищ (полігонів) в Одеській області і майже 26% в Миколаївській області не відповідали нормам екологічної небезпеки [5]. Про масштаби утворення і накопичення ТПВ в областях ПЗП опосередковано можна судити за даними щодо обсягів збирання ТПВ за офіційним джерелом інформації «Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2015-2019 рр.» (таблиця).

Виходячи з даних, наведених в таблиці, протягом останніх п'яти років, обсяги збирання ТПВ, в середньому, склали в Одеській області – 1339527 т/рік, в Миколаївській області – 284710 т/рік, в Херсонській – 195317 т/рік.

Таблиця

**Обсяги збирання твердих побутових відходів в областях
Північно-Західного Причорномор'я**

Обсяг збирання ТПВ, т	Одеська область	Миколаївська область	Херсонська область
2019 рік	846 741	219 751	177 316
2018 рік	1 524 439	268 900	194 968
2017 рік	1 595 950	305 500	170 948
2016 рік	1 530 455	339 900	201 136
2015 рік	1 200 048	289 500	232 190

Отже, зауважимо, що на території трьох областей ПЗП, щорічні обсяги збирання ТПВ, в середньому, сягали 1,82 млн. т, потоки яких були спрямовані на звалища («полігони»). З урахуванням того, що системою збирання ТПВ охоплено приблизно 2/3 населених міст Одеської і інших областей, а також наявності численних несанкціонованих звалищ, обсяги утворення ТПВ можуть досягати 2,5 млн. т/рік.

Слід зазначити, у звіті з аналізу існуючого стану системи поводження з ТПВ в

Одеській області за 2013–2017 рр.» (підготовлено Проектом USAID «Муніципальна енергетична реформа в Україні») обсяги можливого утворення ТПВ в Одеській області оцінюються в 1288,6 тис.т/рік (при чисельності населення 1396 тис. чоловік). Якщо розрахувати обсяги утворення ТПВ на основі їх питомого значення на одиницю населення в Україні (а це 276 кг/рік), то розрахункові обсяги утворення ТПВ на території трьох областей ПЗП (з урахуванням чисельності населення

станом на 01.01.2020 р.) можуть бути помітно менші – приблизно 1,252 млн. т/рік.

Оскільки в Україні не здійснювалися систематичні дослідження морфологічного складу ТПВ, то результати щодо вмісту ВПМ в потоках ТПВ суттєво різняться між собою. Наприклад, за даними VI-го національного повідомлення України з питань зміни клімату, частка ВПМ складає 9-13% [6], а за іншими даними [7] по п'яти містам України вміст пластикових матеріалів у складі ТПВ коливається в межах 8,7-16,6% (середній вміст 12,9%).

Якщо вважати, що середній вміст пластикових матеріалів у складі ТПВ складає 12,9% [7], то у складі потоків ТПВ на території прибережної зони ПЗЧ щороку може утворюватися від 323 тис. т /рік (при загальній сумі обсягів утворення ТПВ 2,5 млн. т/рік) до 161 тис. т/рік (при загальній сумі обсягів утворення ТПВ 1,252 млн. т/рік).

Спеціальні дослідження структури ВПМ на території областей ПЗП не проводилися, а тому за даними [8, 9] вона може бути представлена таким чином: поліетилен – 34%; поліетилентерефталат – 20,4%; комбіновані матеріали на основі паперу і картону – 17%; полівінілхлорид – 13,6%; полістирол – 7,6%; поліпропілен – 7,4%. Частка окремих ВПМ (медичні рукавички, упаковка знезаражуючих засобів і ліків, клапани захисних масок тощо) у складі потоку ТПВ під час епідемії COVID-19 істотно збільшилася. А з урахуванням незадовільного стану більшої кількості звалищ та наявності численних несанкціонованих сміттєзвалищ значна частина (50-80%) цих ВМП могла бути джерелом формування морського сміття в північно-західній частині Чорного моря.

Значна частина ВПМ із звалищ і полігонів ТПВ повітряними потоками виносяться в річкову мережу ПЗЧ, а при близькості їх до прибережної смуги, і безпосередньо потрапляє в акваторію північно-західної частини Чорного моря. На прикладі Одеської області можна уявити значну кількість зелених «точок» (звалищ) і коричневих «точок» (полігонів) ТПВ (рис. 1).

Слід зазначити, що щільність пластикових матеріалів близька до щільності води, тому вони легко виносяться з водозборів великих річок (Дунаю, Дністра, Південного Бугу і Дніпра), а також численних середніх і малих річок.

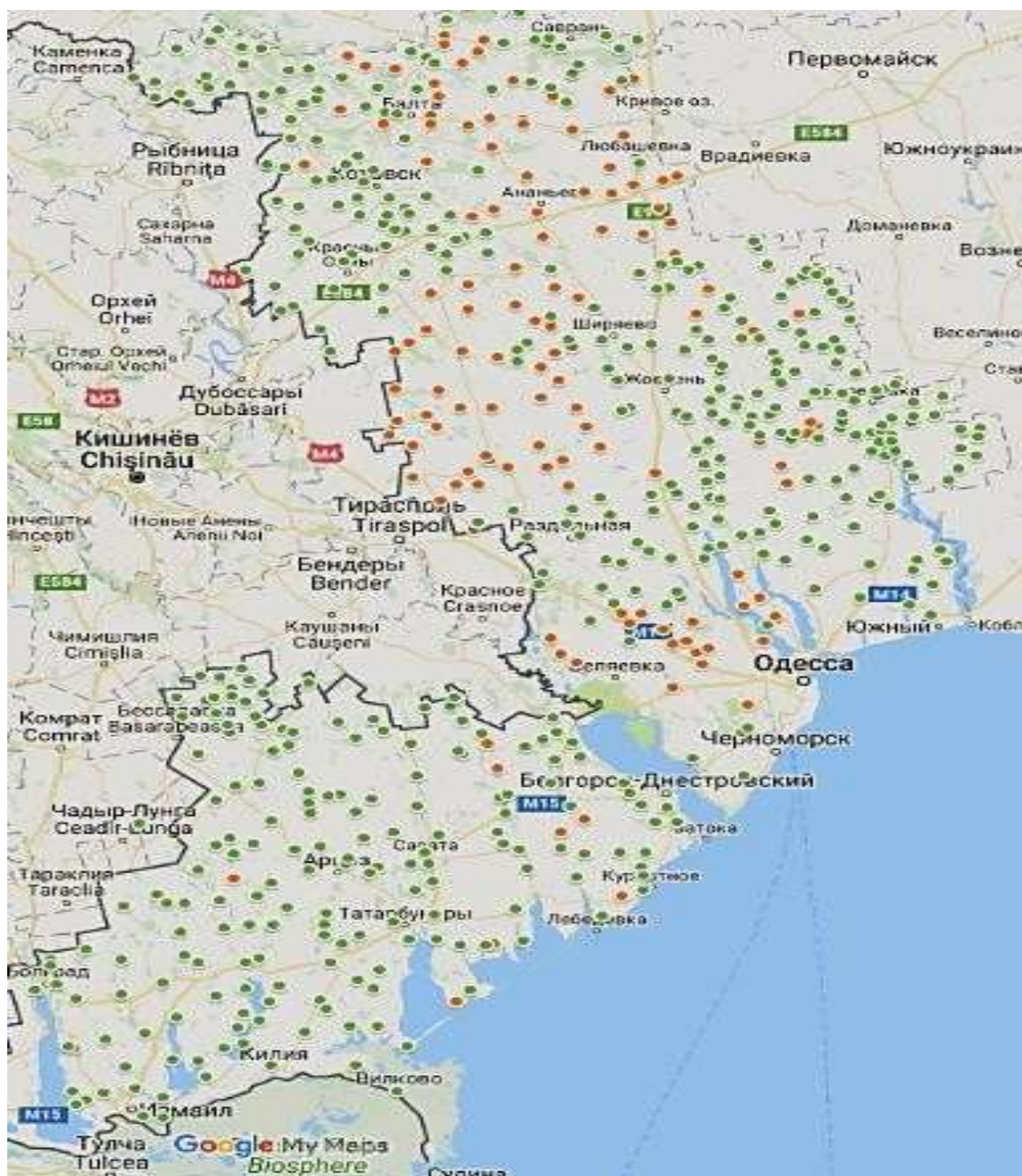
Практично вся берегова смуга ПЗЧ, що складає протяжність понад 720 км, активно використовується в рекреаційних цілях і особливо в теплий період року. Лише в

Одеської області 207 км є придатними та вибірково придатними зонами для рекреації при загальній довжині берега у 394 км. Враховуючи норми рекреаційного навантаження на приморські природні комплекси (300–500 осіб/км²) та велику кількість неорганізованих рекреантів у теплий період року, неважко уявити їх роль у формуванні пляжного сміття (у т. ч. ВПМ). Крім того, береговими джерелами надходження сміття можуть бути населені пункти, морегосподарські комплекси та сільськогосподарські угіддя, що розташовані вздовж прибережної смуги. В деяких міських промислово-міських агломераціях (наприклад, в Одеській) ВПМ потрапляють в морський басейн під час зливів.

Решта ВПМ утворюється у межах самої акваторії (судноплавство, рибальство, днопоглиблювальні роботи, дам্পинг тощо). На рис. 2 наведена схема поверхневих течій Чорного моря. Оскільки північно-західна частина моря належить до мілководного шельфу, а постійний водообмін з основною глибоководною частиною моря є досить інтенсивним, то це зумовлює вільне перенесення течіями ВПМ в обидві частини. Потрапляючи в північно-західну частину Чорного моря, ВПМ втягується в загальну циркуляцію, що активує їх переміщення по поверхні моря. У літній (маловітряний) період року, концентрації ВПМ формуються за рахунок квазістаціонарних топографічних і нестаціонарних вихорів в центрі і на західній периферії шельфу. У зимовий період активізації північних вітрів, відбувається винос ВПМ уздовж узбережжя Румунії та Болгарії Румелійською течією, а потім частина ВМП Верхньобосфорською течією виносяться в Мармурове море, решта потрапляє в Анатолійську течію та переміщуються уздовж берегів Туреччини. При цьому деяка частина ВПМ втягується в вергенцію центральної частини моря, а їх частина, обігнувши все море проти часової стрілки, повертає ВПМ в північно-західну частину біфуркаційною гілкою основної Чорноморської течії.

Значна енергія витрачається на формування вдовжберегових вихорів, їх модифікацію та переміщення на східну область центральної чорноморської вергенції, що сприяє акумулюванню там певної кількості ВПМ. Можливо, що цим зумовлена більша середня концентрація морського сміття (у т. ч. ВПМ в її складі) в східній частині Чорного моря [3].

На рис. 3 наведена схема найбільш частих проявів антициклоніальних вихорів та траєкторій їх переміщення.



Зелені «точки» – звалища; коричневі «точки» – полігони.

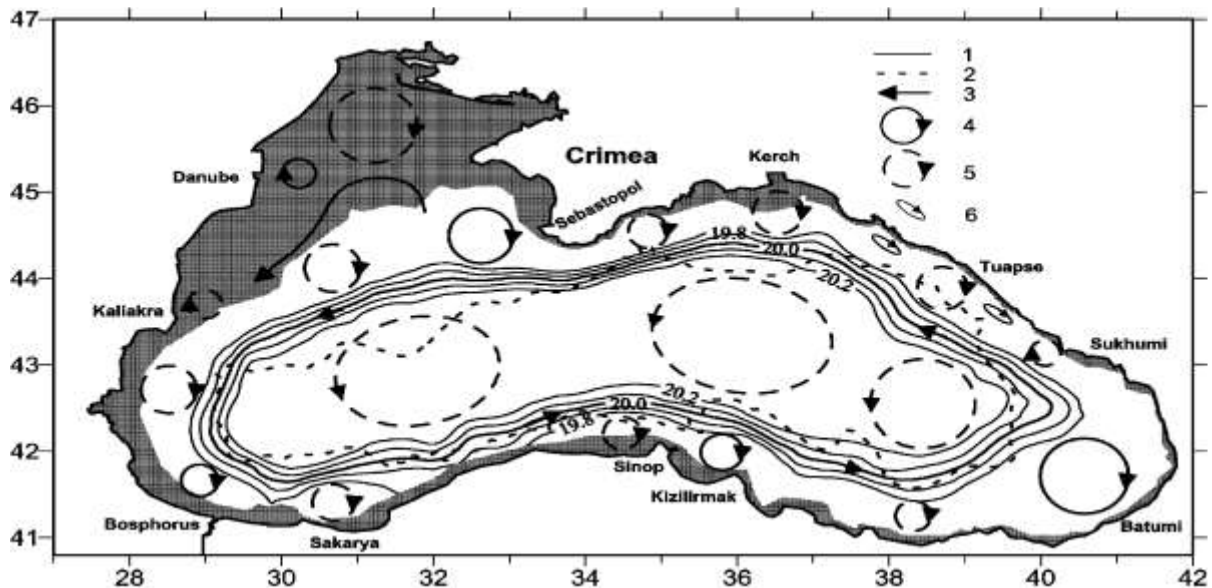
Рис. 1 – Звалища і полігони ТПВ на території Одеської області (Проект USAID «Муніципальна енергетична реформа в Україні», 2017)

Стосовно визначених значень швидкості морських течій, слід наголосити, що максимальна середня швидкість (0,63 м/с) зафіксована на заході від Босфорської протоки (липень 1972 р., глибина 25 м), а абсолютний максимум (1,41 м/с) зафіксований біля мису Калиакра (вересень 1976 р., глибина м). Середні кліматичні значення основної Чорноморської течії на поверхні моря коливаються

від 0,1 до 0,2 м/с, що зумовлює тривалість переносу ВПМ при обміні і трансформації вихрових структур протягом місячних і більших інтервалів часу.

Отже, циркуляція ВПМ в морському басейні може відбуватися незмірно тривалий період, акумулюючи їх в стаціонарних вихрових структурах і на шельфі.

Частинки макропластику можуть під-



1 – середньорічні значення кліматичної солоності (psu) на глибині 100 м;
 2 – середньорічні значення кліматичної солоності (psu) на глибині 1000 м;
 3 – біфуркаційна гілка основної Чорноморської течії;
 4 – квазістаціонарні вихори; 5 – нестаціонарні вихори; 6 – нестаціонарні прибережні вихори;
 Ділянки з глибиною менше за 100 м заштриховані.

Рис. 2 – Схема генеральної циркуляції Чорного моря у поверхневому шарі (0-500 м) [10]

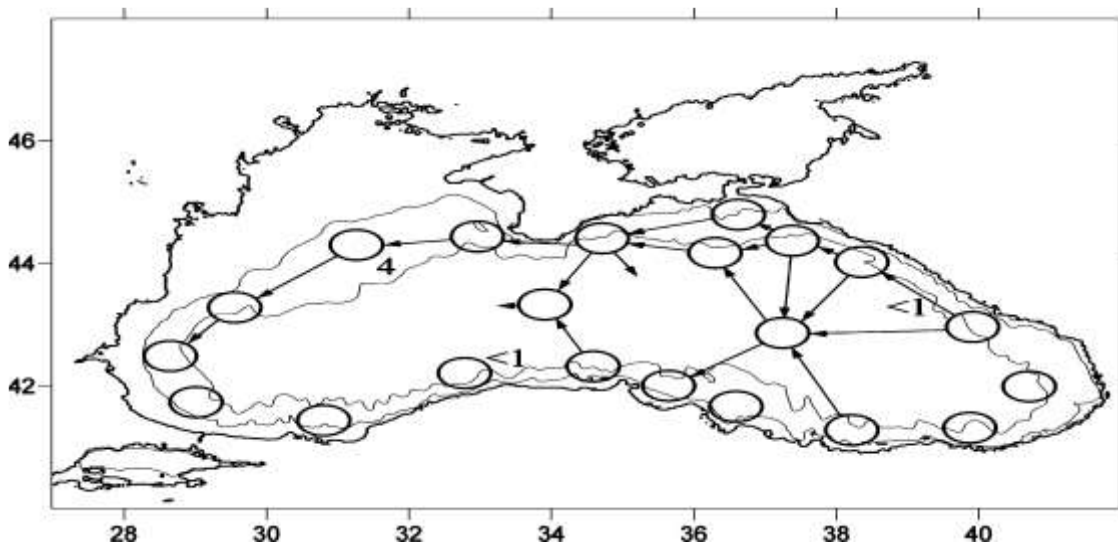


Рис. 3 – Схема найбільш частих проявів антициклоніальних вихорів в Чорному морі (круги) та траєкторій їх переміщення (стрілки); цифри – локальні значення безрозмірної ширини континентального схилу – ізобати 100 м і 1500 м (Zatsepin A.G., Denisov E.S. et al., 2005)

даватися тривалому переносу морськими течіями, вітрами і хвилями. Вони несуть пряму загрозу морським організмам і є «сировиною» для генерування мікропластику і нанопластику. Мікрочастинки пластику мають низьку щільність і багато видів морської фауни сприймають їх як джерело їжі. Оскільки пластик не розчиняється їх ферментативної системою, то саме по собі проковтування пластика

становить загрозу для їх життя і може призвести до летального результату. Однак найбільше занепокоєння викликає той факт, що частинки мікропластику здатні адсорбувати важкі метали та інші токсичні поллютанти. Забруднений мікропластик потрапляє у трофічні ланцюги, накопичується в морських організмах, а потім через наявність у складі морепродуктів потрапляє до організму людини [11].

Висновки

В прибережній зоні ПЗР щорічні обсяги утворення ТПВ можуть досягати 2,5 млн т/рік, а обсяги утворення ВПМ – понад 320 тис. т/рік; незважаючи на ресурсну цінність ВПМ в Україні не існує визначеної системи поводження з ними, а тому вони у складі потоків ТПВ видаляються на численні звалища (у тому числі на несанкціоновані); значна частина ВПМ (до 80%) із неорганізованих звалищ ТПВ та інших берегових джерел забруднення виноситься повітряними і водними потоками в акваторію північно-західної частини Чорного моря; ВПМ прибережної зони ПЗП є основною складовою морського сміття (на них припадає 83% морського сміття, виявленого в Чорному морі); ВПМ (макропластик) можуть піддаватися тривалому переносу морськими течіями, вітрами та

хвилями і являти собою пряму загрозу морської екосистеми; напрями переміщення ВПМ в морському басейні зумовлені процесами загальної циркуляції у поверхневому шарі Чорного моря; процес біодеградації ВПМ (макропластика) утруднений в умовах морського середовища, а тому їх трансформація обмежується процесами деструкції і диспергуванням до мікро- і наночастинок. Ураховуючи екологічну небезпечність мікропластику, доцільно створити систему спостережень за його вмістом в морському середовищі. Для поліпшення екологічної ситуації в прибережній зоні ПЗП необхідно істотно збільшити обсяги ВПМ, що утилізуються, а також ліквідувати звалища ТПВ, які не відповідають вимогам екологічної безпеки.

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.

Література

1. Plastic & Health. The Hidden Costs of a Plastic Planet. URL: <https://www.ciel.org/wp-content/uploads/2019/02/Plastic-and-Health-The-Hidden-Costs-of-a-Plastic-Planet-February-2019.pdf> (Дата звернення 07.10.2020).
2. Пластиковый мусор и микропластик в Мировом океане. Глобальное предостережение и исследование, призыв к действиям и руководство по изменению направления политики. ЮНЕП, 2016, Найроби / UNEP (2016). URL: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7720/MPDMP_RU.pdf?sequence=4&isAllowed=y (дата звернення: 07.10.2020 р.).
3. National Pilot Monitoring Studies and Joint Open Sea Surveys in Georgia, Russian Federation and Ukraine, 2017. Draft Final Scientific Report. November 2018. URL: http://emblasproject.org/wp-content/uploads/2019/07/EMBLAS-II_NPMS_JOSS_2017_ScReport_FinDraft2.pdf (Accessed: 07.10.2020).
4. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. N 820). URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-p> (дата звернення: 21.09.2020 р.).
5. Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2019 рік. URL: <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zkhk/terretory/stan-sfery-povodzhennya-z-pobutovymy-/> (дата звернення: 07.10.2020 р.).
6. Тверді побутові відходи в Україні: потенціал розвитку. Сценарії розвитку галузі поводження з твердими побутовими відходами. IFC, Група Світового банку. К., 2015. 109 с. URL: <https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/504c5765-89d4-4be1-916e-ea27aa94feaf/22.+%D0%A2%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%B4%D1%96+%D0%BF%D0%BE%D0%B1%D1%83%D1%82%D0%BE%D0%B2%D1%96+%D0%B2%D1%96%D0%B4%D1%85%D0%BE%D0%B4%D0%B8+%D0%B2+%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D1%96+%D0%9F%D0%9E%D0%A2%D0%95%D0%9D%D0%A6%D0%86%D0%90%D0%9B+%D0%A0%D0%9E%D0%97%D0%92%D0%98%D0%A2%D0%9A%D0%A3+%D0%A1%D1%86%D0%B5%D0%BD%D0%B0%D1%80%D1%96%D1%97+%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%BA%D1%83+%D0%B3%D0%B0%D0%BB%D1%83%D0%B7%D1%96+%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F+.pdf?MOD=AJPERES&CVID=INpI3Ew> (дата звернення: 03.10.2020 р.).

7. Матвеев Ю. Б., Гелетука Г. Г. Перспективи енергетичної утилізації твердих побутових відходів в Україні. Аналітична записка Біоенергетичної асоціації України № 22. К., 2019. 48 с. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/01/position-paper-uabio-22-ua.pdf> (дата звернення: 03.10.2020)
8. Утворення та утилізація відходів за матеріалами. Архів. Держстат України, 1998-2015. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2013/ns_rik/ns_u/arch_utvut_u.htm (дата звернення: 03.10.2020 р.).
9. Шаніна Т. П., Сейфулліна І. Й., Кушнірьова В. О. Еколого-економічне обґрунтування вибору способу поводження з відходами пластичних мас. Вісник Одеського національного університету імені І.І. Мечникова. Хімія. 2015. Том 20. Вип. 2(54). С. 49-60. URL: [https://doi.org/10.18524/2304-0947.2015.2\(54\).50628](https://doi.org/10.18524/2304-0947.2015.2(54).50628)
10. Зобков М. Б., Есюкова Е. Е. Микропластик в морской среде: обзор методов отбора, подготовки и анализа проб воды, донных отложений и береговых наносов. Океанология. 2018. Т. 58. №1. С. 149-157. URL: <https://doi.org/10.7868/S0030157418010148>
11. The Black Sea Environment. The handbook of environmental. Chemistry5'Q. Editors: A. G. Kostianoy, A. N. Kosarev Springer Series in Advanced Manufacturing ISSN 1433-6863 Library of Congress Control Number: 2007933692 с. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-74292-0>

References

1. Plastic & Health. The Hidden Costs of a Plastic Planet. (2017). Retrieved October 7, 2020, from <https://www.ciel.org/wp-content/uploads/2019/02/Plastic-and-Health-The-Hidden-Costs-of-a-Plastic-Planet-February-2019.pdf>
2. Plastic waste and microplastics in the oceans. A global warning and study, a call to action, and guidance for policy change. (2016). Nairobi. UNEP. Retrieved October 7, 2020, from https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7720/MPDMP_RU.pdf?sequence=4&isAllowed=y (In Russian).
3. Surveys in Georgia, Russian Federation and Ukraine, 2017. Draft Final Scientific Report. November (2018). Retrieved October 7, 2020, from http://emblasproject.org/wp-content/uploads/2019/07/EMBLAS-II_NPMS_JOSS_2017_ScReport_FinDraft2.pdf
4. National Waste Management Strategy in Ukraine until 2030 (2017); approved by the order of the Cabinet of Ministers of Ukraine of November 8, 2017 N 820. Retrieved September 21, 2020, from <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-p> (In Ukraine).
5. The state of the sphere of household waste management in Ukraine in 2019. (2020). Retrieved October 7, 2020, from <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/terretory/stan-sfery-povodzhennya-z-pobutovymy-/> (In Ukraine).
6. Municipal solid waste in Ukraine: development potential. Scenarios for the development of the solid waste management industry. (2015). Kyiv: IFC, World Bank Group. Retrieved October 3, 2020, from <https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/504c5765-89d4-4be1-916e-ea27aa94feaf/22.+%D0%A2%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%B4%D1%96+%D0%BF%D0%BE%D0%B1%D1%83%D1%82%D0%BE%D0%B2%D1%96+%D0%B2%D1%96%D0%B4%D1%85%D0%BE%D0%B4%D0%B8+%D0%B2+%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D1%96+%D0%9F%D0%9E%D0%A2%D0%95%D0%9D%D0%A6%D0%86%D0%90%D0%9B+%D0%A0%D0%9E%D0%97%D0%92%D0%98%D0%A2%D0%9A%D0%A3+%D0%A1%D1%86%D0%B5%D0%BD%D0%B0%D1%80%D1%96%D1%97+%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%BA%D1%83+%D0%B3%D0%B0%D0%BB%D1%83%D0%B7%D1%96+%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F+.pdf?MOD=AJPERES&CVID=INpI3Ew> (In Ukraine).
7. Matveev, Y.B., & Geletukha, G.G. (2019). Prospects of energy utilisation of municipal solid waste in Ukraine. UABio Position Paper № 22. Retrieved October 3, 2020, from <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/01/position-paper-uabio-22-ua.pdf> (In Ukraine). <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/01/position-paper-uabio-22-en.pdf> (In English)
8. Generation and utilization of waste by materials. Archive. State Statistics Service of Ukraine, 1998-2015. Retrieved October 3, 2020, from http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2013/ns_rik/ns_u/arch_utvut_u.htm (In Ukraine).
9. Shanina, T.P., Seifullina, I.Y. & Kushnirva, V.O. (2015). Ecological and economic substantiation of the choice of the method of plastic waste management. Odesa National University Herald. Chemistry, 20 (2 (54)), 49-60. [https://doi.org/10.18524/2304-0947.2015.2\(54\).50628](https://doi.org/10.18524/2304-0947.2015.2(54).50628) (In Ukraine).
10. Zobkov M.B. & Esyukova E.E. (2018). Microplastics in the marine environment: a review of methods for sampling, preparation and analysis of water samples, bottom sediments and coastal sediments. Oceanology, 58 (1), 149-157. <https://doi.org/10.7868/S0030157418010148> (In Russian).
11. Kostianoy, A.G. & Kosarev, A.N. (Eds.) (2008). The Black Sea Environment. The handbook of environmental. Chemistry5'Q. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-74292-0>

Надійшла: 07.10.2020

Прийнята: 20.10.2020

ЗБАЛАНСОВАНЕ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

UDC: 504.5:911:005.3:351.824.11:35.073.6:347.218.1(477)

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-23-07>

L. A. HOROSHKOVA¹, DSc (Economic), Prof., Ie. V. KHLOBYSTOV², DSc (Economic), Prof.

¹*Bila Tserkva Institute for Continuous Professional Education*
52/4, Levaneskogo, Str., Bila Tserkva 09117, Kyiv region, Ukraine

²*National University of «Kyiv-Mohyla Academy»*
2, Skovorody, Str., Kyiv, 04070, Ukraine

e-mail: goroshkova69@gmail.com
ievgen.khlobystov@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7142-4308>
<https://orcid.org/0000-0002-9983-9062>

ECONOMETRIC ANALYSIS OF SUSTAINABLE NATIONAL ECONOMY DEVELOPMENT

Purpose. The study objective was to model conditions, mechanisms and opportunities to achieve sustainable development parameters for the national economy.

Methods. Analysis and synthesis, induction and deduction, analytical grouping and special (abstraction, modelling, etc.) methods of studying economic phenomena and processes have been used.

Results. Based on the analysis of the dynamics of GDP growth rates, sulfur dioxide, nitrogen dioxide, oxide and carbon dioxide emissions during 1991-2017, the cycle of their change lasting 3 - 5 years has been proved. It has been found out that the Environmental Kuznets Curve (EKC) in Ukraine is a specific one due to the "turning points". According to the results of comparing the cyclicity of per capita income growth rates, GDP indexes with the dynamics of dependence between the hazardous substances emissions and per capita income and GDP in actual prices, it is found that they do not always coincide. It gives grounds to make a conclusion about the presence of lag between the emissions volumes changes and values of per capita income and GDP in actual prices. The conclusions are grounded on the comparison of the dynamics of GDP growth rates, income per capita, pollutant emissions and the parameters of their mutual correlation. It has been proposed to carry out coordinated policy referring its economic, social and environmental components, taking into account the time lag to create the conditions for the EKC curve parameters in the economy of Ukraine.

Conclusions. Based on the analysis of GDP growth rates dynamics, sulfur dioxide, nitrogen dioxide, carbon oxide and dioxide emissions, the periodicity (cyclicity) of their change has been proved. In Ukraine, EKC has a specific nature in the form of separate «turning points», without achievement of long-term parameters of the relationship between the hazardous substances emissions and GDP and per capita income values. Thus, the feasibility of developing the agreed policy concerning the economic (GDP value), social (population income level) and environmental components (conservation activity financing and decrease of hazardous substances emissions) taking into account the time lag, which will create the conditions for achieving not only temporary values, but also long-term parameters of EKC curve in the Ukrainian economy, was substantiated. The obtained results allow to forecast sustainable development parameters of Ukraine for the future.

KEY WORDS: sustainable development, economic growth, GDP, income per capita, national economy, emissions of air pollutants

Горошкова Л. А.¹, Хлобистов Є. В.²

¹*Білоцерківський інститут неперервної професійної освіти*

вул. Леваневського, 54/2, м. Біла Церква, Київська обл., 09117, Україна

²*Національний університет «Києво-Могилянська академія», вул.Сковороди, 2, м. Київ, 04070, Україна*

ЕКОНОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ СТАЛОГО РОЗВИТКУ НАЦІОНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА

Мета. Моделювання умов, механізмів та можливостей досягнення параметрів сталого розвитку національного господарства.

© Horoshkova L., Khlobystov Ie., 2020



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/).

Методи. Загальнонаукові (аналіз та синтез, індукція та дедукція, аналітичне групування) та спеціальні (абстрагування, моделювання і т. ін.) методи вивчення економічних явищ і процесів.

Результати. На основі аналізу динаміки темпів зростання ВВП, викидів діоксида сірки, діоксида азоту, оксида та діоксида вуглецю впродовж 1991-2017 років доведена періодичність (циклічність) їх зміни тривалістю 3 – 5 років. Встановлено, що в Україні екологічна крива Кузнеца (ЕКК) має специфічний характер у вигляді окремих «поворотних точок». Висновки зроблено на підставі співставлення динаміки темпів зростання ВВП, доходів на душу населення й викидів забруднюючих речовин та параметрів взаємної кореляції між ними. За результатами порівняння циклічності темпів зростання доходів на душу населення, індексів ВВП з динамікою залежності між викидами шкідливих речовин та величин доходів на душу населення та ВВП у фактичних цінах, встановлено, що вони не завжди співпадають. Це дало підстави зробити висновок про наявність лагу між змінами обсягів викидів та величинами доходів на душу населення та ВВП у фактичних цінах. Запропоновано здійснювати формування узгодженої політики щодо економічної, соціальної та екологічної складових з урахуванням часового лагу задля створення умов для досягнення параметрів кривої ЕКК в економіці України.

Висновки. На основі аналізу динаміки темпів зростання ВВП, діоксиду сірки, діоксиду азоту, викидів оксидів вуглецю та діоксиду, доведена періодичність (циклічність) їх зміни. В Україні ЕКС має специфічний характер у вигляді окремих «поворотних точок», без досягнення довгострокових параметрів взаємозв'язку між викидами шкідливих речовин та ВВП та значеннями доходу на душу населення. Таким чином, доцільною є розробка узгодженої політики щодо економічної (величина ВВП), соціальної (рівень доходу населення) та екологічних складових (фінансування природоохоронної діяльності та зменшення викидів небезпечних речовин) з урахуванням часового лагу, що створить умови для обґрунтованого досягнення не лише тимчасових значень, а й довгострокових параметрів кривої ЕКС в українській економіці. Отримані результати дозволяють здійснювати прогнозування параметрів сталого розвитку України на перспективу.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: сталий розвиток, економічне зростання, ВВП, доходи на одного працюючого, національне господарство, викиди забруднюючих речовин

Горошкова Л. А.¹, Хлобыстов Е. В.²

¹Белоцерковский институт непрерывного профессионального образования
ул. Леваневского, 54/2, г. Белая Церковь, Киевская обл., 09117, Украина

²Национальный университет «Киево-Могилянская академия»
ул.Сковороды, 2, г. Киев, 04070, Украина

ЭКОНОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ НАЦИОНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА

Цель. Моделирование условий, механизмов и возможностей достижения параметров устойчивого развития национального хозяйства.

Методы. Общенаучные (анализ и синтез, индукция и дедукция, аналитическое группировки) и специальные (абстрагирование, моделирование и т. д.) методы изучения экономических явлений и процессов.

Результаты. На основе анализа динамики темпов роста ВВП, выбросов диоксида серы, диоксида азота, оксида и диоксида углерода в течение 1991-2017 годов доказана периодичность (цикличность) их изменения продолжительностью 3 - 5 лет. Установлено, что в Украине экологическая кривая Кузнеца (ЭКК) имеет специфический характер в виде отдельных «поворотных точек». Выводы сделаны на основании сопоставления динамики темпов роста ВВП, доходов на душу населения и выбросов загрязняющих веществ и параметров взаимной корреляции между ними. По результатам сравнения цикличности темпов роста доходов на душу населения, индексов ВВП с динамикой зависимости между выбросами вредных веществ и величин доходов на душу населения и ВВП в фактических ценах, установлено, что они не всегда совпадают. Это дало основания сделать вывод о наличии лага между изменениями объемов выбросов и величинами доходов на душу населения и ВВП в фактических ценах. Предложено осуществлять формирование согласованной политики по экономической, социальной и экологической составляющих с учетом временного лага для создания условий для достижения параметров кривой ЭКК в экономике Украины.

Выводы. На основе анализа динамики темпов роста ВВП, диоксида серы, диоксида азота, выбросов оксидов углерода и диоксида, доказана периодичность (цикличность) их изменения. В Украине ЕКС имеет специфический характер в виде отдельных «поворотных точек», без достижения долгосрочных параметров взаимосвязи между выбросами вредных веществ и ВВП и значениями дохода на душу населения. Таким образом, целесообразна разработка согласованной политики по экономической (величина ВВП), социальной (уровень дохода населения) и экологической составляющих (финансирование природоохранной деятельности и уменьшения выбросов опасных веществ) с учетом часового лага, что создаст условия для обоснованного достижения не только временных значений, но и долгосрочных параметров

кривой ЕКС в украинской экономике. Полученные результаты позволяют осуществлять прогнозирование параметров устойчивого развития Украины на перспективу.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: устойчивое развитие, экономический рост, ВВП, доходы на одного работающего, национальное хозяйство, выбросы загрязняющих веществ

Introduction

The global threats that the world faces and that are connected with the environmental problems substantiate the need to form the parameters, conditions and mechanisms of sustainable development. It is relevant first of all for developing countries, including for Ukraine. The aim of the paper is to forming the national economy sustainable development model taking into account new realities, peculiarities of economic systems, availability of resources, environmental state, production volumes, populations' standards of living and other factors of internal and external environment.

The problems of economic growth, factors that form it and ensure the national economy sustainable development attract more and more attention. The problems of sustainable development are traditionally studied with defining the economic, environmental and social determinants [1-5]. Concerning the relationship between the economic and environmental components, one of the models was proposed by Simon Kuznets, according to which there exists the relationship between the income (economic growth) and environmental pollution, which is of nonlinear nature – a form of reversed parabolic curve. This model remains relevant, gets new interpretations and can be used for characterising the problems of today, namely the problems of forming the national economy sustainable development model taking into account new realities, peculiarities of economic systems, availability of resources, environmental state, production volumes, populations' standards of living and other factors of internal and external environment.

Environmental Kuznets curve (EKC) dependence takes into account the influence of such main factors as: a) scale of production effect, i.e. its extension with the unchanged production factors, directions of influence on the environment and technological level; b) changes in the composition of pollutants emissions and other factors affecting the environment (output mix). The economic growth is accompanied by the change of emissions compositions, as different industries have different pollution intensiveness; c) change of production factors, in particular consumption of raw

materials (input mix), which lead to replacing the less environmentally harmful factors with more environmentally harmful factors and vice versa; d) state of technology improvement, which predetermine the changes in production efficiency in the aspect of resource saving and decreasing the amount of waste per product (release) unit and pollutants emissions into the environment (emissions) per unit of the raw materials used.

These variables can feel the effect of such other factors as environmental regulation, education and awareness in the socio-economic development issues. A number of publications describe the theoretical models of how the state assistance and technologies can affect the environmental quality in different periods of time. Different hypotheses in order to simplify the description of the economy are presented in the studies. In the majority of them, there appears the possibility of creating the inverted U-shaped curve of the change of pollution intensiveness, but there is no agreement concerning its inevitability. The results of the studies depend on the hypotheses presented and the values of main parameters. Some researchers tell about the conditions of unchanged means of living, exogenous nature of technological changes and that it is not consumption but production that leads to pollution [7-8]. Other created the so-called cross-contamination models, according to which it is not production but consumption that causes contamination [9-10]. Stokey [11] assumed that the technical changes are of endogenous nature. Stern [12] notes that, based on some assumptions, it is easy to create a model, from which environmental Kuznets curve appears, but none of these models was proved empirically. If the monotonous dynamics of the pollutants emissions is proved by empirical studies, then the ability of EKC to create the inverted U-shaped curve of changes is not its property, but the separate case.

The evolutionary approach to assessing the factors that cause EKC was used by Cantore [13] who, unlike other researchers, used not the econometric instruments but the climate change complex assessment model RICE99

interpreted by Nordhaus and Boyer [14,15], which is one of the newest versions of regional dynamic general equilibrium model, developed by Nordhaus for studying the economic aspects of climate changes [14,15]. Such model was developed for each of eight macroregions, which the world is divided into (USA, other high-income countries, OECD European states, Russia and Eastern European countries, average-income states, below average-income states, China and low-income countries). According to it, it is assumed that every region chooses the most optimal investment trajectory

and energy consumption expenditures, which maximise the per capita discounted consumption cost (GDP). He studied the factors that can neutralise the scale effect in the relationship between the income and environmental degradation: economic structure (production of goods and services), effectiveness of the resources usage (resource units per product unit), technological changes (replacement of scarce resources with the environmentally friendly technologies, which can decrease the environmental degradation).

Method

In the analysis, general-scientific methods (analysis and synthesis, induction and deduction) and special methods of phenomena

and processes analysis (abstraction, econometric and econometric-mathematical modelling) have been used.

Results

The dynamics of GDP growth rates, sulfur dioxide, nitrogen dioxide, carbon oxide and dioxide emissions in Ukraine as a whole can be observed based on the data of State Statistic Service of Ukraine. It was done for 1991–2017 period, which showed some dependencies (Fig. 1).

The listed indicators change cyclically. So, at the GDP index curves, there are the minimums in 1994, 1998, 2002, 2005, 2009 and

2014, which correspond to the country’s economic recessions. The GDP indexes maximums correspond to 2000, 2003, 2007 and 2010. The minimums at the per capita income growth rates dynamics curve are observed in 1998, 2002, 2006, 2009 and 2014. The corresponding maximums are observed in 2000, 2004, 2008, 2015. Thus, it can be seen that the duration of small cycles is from 3 to 5 years.

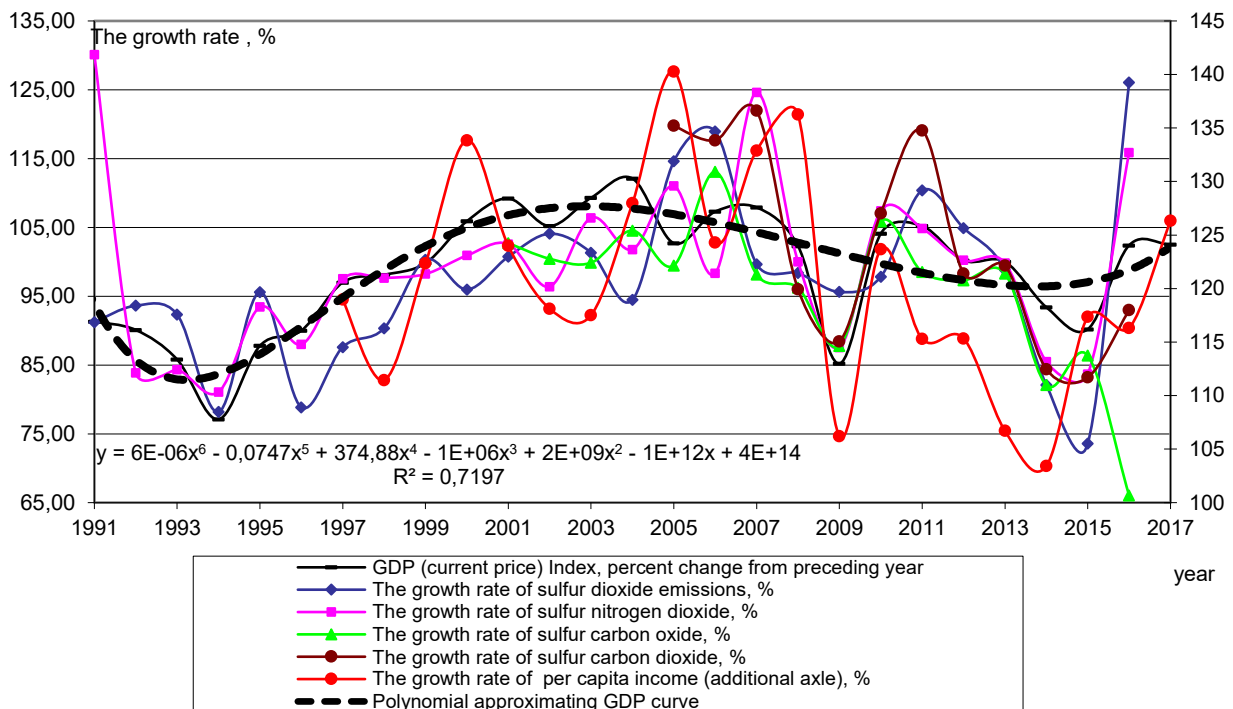


Fig. 1 – Dynamics of GDP indexes, sulfur dioxide, nitrogen dioxide, carbon oxide, carbon dioxide emissions growth chain rates and annual per capita income during 1991–2017

As for the environmental indicators (the volumes of hazardous substances emissions), they also change with some periodicity, but the duration of their cycles is from 2 to 5 years. The maximums and minimums of the curves of sulfur dioxide, nitrogen dioxide, carbon oxide and dioxide emissions growth rates do not always coincide with the corresponding maximums at the curves of GDP indexes and per capita income growth rates.

S. Kuznets proved the existence of the relationship between the hazardous substances emissions volumes and per capita income level, but the traditional EKC is not confirmed by the analysis of official statistic data concerning Ukraine. There is some specificity of this curve, which contains cyclicity, which can be described with the help of distributed lag model.

Most often, when analysing the time series data, it is taken into account that the explanatory variables affect the resulting indicator value at the same moment of time. But, previous value of both the explanatory variables and the indicator itself can affect the current value of the resulting indicator. I.e. the effect from the influence of certain factor on the resulting indicator is manifested not immediately, but gradually, in some period of time. In this case, there appears a time lag.

The changes in one cyclical process can lead to the change in the dynamics of others in some period of time (lag). Lag models are used for studying such processes. In order to substantiate the lags, it is reasonable to use the cross-correlation function, which characterises the density of the relationship of each element of dynamic series of dependent (resulting) y_t and explanatory x_t variables, shifted relative to each other to time lag τ .

In order to substantiate the lags, it is reasonable to use the cross-correlation function, which characterises the density of the relationship of each element of dynamic series of dependent (resulting) y_t and explanatory x_t variables, shifted relative to each other to time lag τ . Cross-correlation coefficient is defined according to the formula:

$$r_{\tau} = \frac{(n - \tau) \sum_{t=1}^{n-\tau} y_t x_{t-\tau} - \sum_{t=1}^{n-\tau} y_t \sum_{t=1}^{n-\tau} x_{t-\tau}}{\sqrt{[(n - \tau) \sum_{t=1}^{n-\tau} y_t^2 - (\sum_{t=1}^{n-\tau} y_t)^2][(n - \tau) \sum_{t=1}^{n-\tau} x_{t-\tau}^2 - (\sum_{t=1}^{n-\tau} x_{t-\tau})^2]}} \quad (1)$$

where y_t and x_t are the elements of the vector of dependent (resulting) and explanatory variables, respectively, shifted relative to each other to time lag τ , n is the number of the values of r_{τ} .

The cross-correlation coefficient changes from -1 to 1 , the biggest value on the module defines the shift or time lag. If there are several values, it is thought that the time lag takes place during some period of time, as a result, we have several time lags.

According to the results of comparing the cyclicity of per capita income growth rates, GDP indexes with the dynamics of dependence between the hazardous substances emissions and per capita income and GDP in actual prices, it is found that they do not always coincide. It gives grounds to make a conclusion about the presence of lag between the emissions volumes changes and values of per capita income and GDP in actual prices.

As for current investments, the coincidence of current investments changes dynamics with the hazardous substances emissions should testify the absence of lag and high level of cross-correlation between the mentioned values.

The proposed hypotheses can be checked based on official statistical data.

Figure 2 shows the dynamics of cross-correlation coefficient (correlogram) between the sulfur dioxide, nitrogen dioxide, carbon oxide and dioxide emissions volumes and per capita income during 1996 – 2016.

As for the sulfur dioxide, during 1996–2000, there takes place gradual increase of cross-correlation coefficients values between the hazardous substances emissions and per capita income, maximum absolute value $r = 0.9033$ was achieved in 2000. The next maximum achieved in 2015 was $r = 1$.

According to the results obtained (Fig. 1), in 2000, there was observed the increase of per capita income growth rates with the simultaneous minimum of sulfur dioxide emissions growth rates, which absolutely coincides with the results obtained. During past and future years, similar situation was not observed. Thus, it confirms the conclusion that Ukraine did not yet reach a «turning point» in traditional EKC model, only temporary results were obtained.

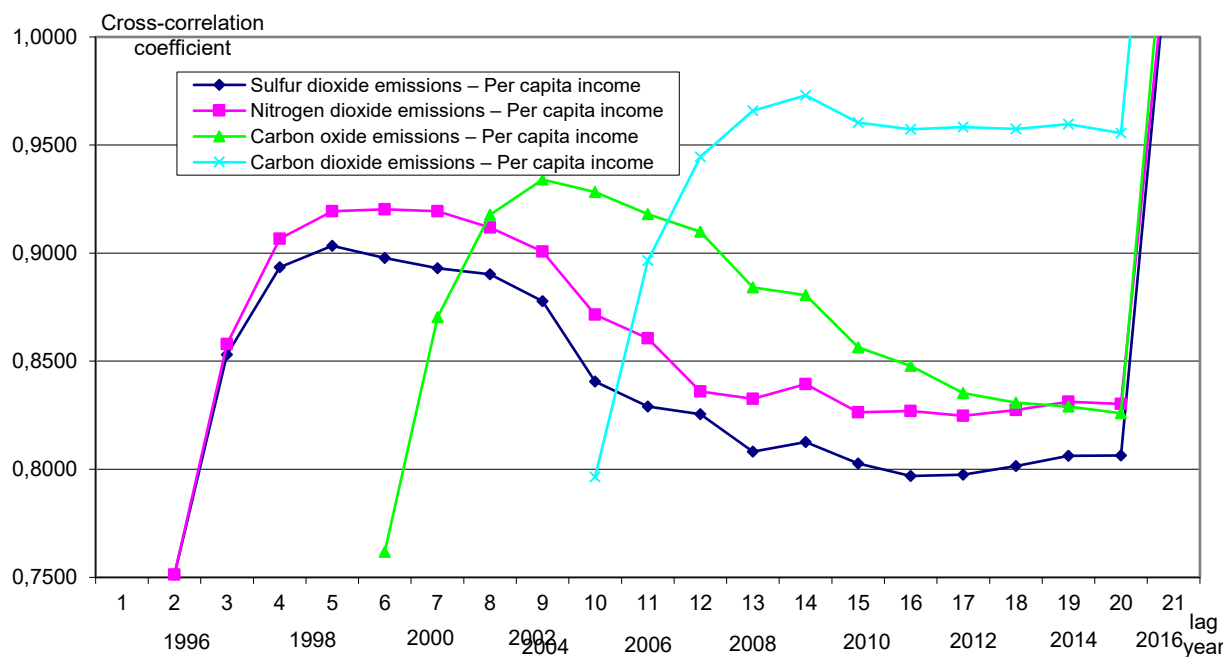


Fig. 2 – Dynamics of cross-correlation coefficient (correlogram) between the sulfur dioxide, nitrogen dioxide, carbon oxide, carbon dioxide emissions volumes and per capita income

As for the nitrogen dioxide, during 1996–2000, there also took place gradual increase of cross-correlation coefficients values between the emissions and per capita income, maximum absolute value $r = 0.9202$ was achieved in 2000. It is close to maximum value ($r = 1$), which shows the presence of high level of values relationship. The next maximum achieved in 2015 was $r = 1$.

The result obtained is also confirmed by the study results (Fig.1): it is in 2000 when there was observed the increase of per capita income growth rates with the simultaneous minimum of nitrogen dioxide emissions growth rates. During past and future years, such coincidence was not found. Thus, similar to sulfur dioxide, it confirms the conclusion that Ukraine did not reach a steady turning point in traditional EKC model. There are temporary, not continuous results.

As for the carbon oxide, during 2000–2004, there also takes place gradual increase of cross-correlation coefficients values between the emissions and per capita income, maximum absolute value $r = 0.9340$ was achieved in 2004. It is close to maximum value ($r = 1$), which shows the presence of high level of values relationship. The next maximum achieved in 2015 was $r = 1$.

It is in 2000 when there was observed the increase of per capita income growth rates with the simultaneous minimum of carbon oxide emissions growth rates (Fig. 1), which absolute-

ly correlated with the data obtained. Thus, similar to sulfur and nitrogen dioxide, it shows that Ukraine did not reach a steady turning point in traditional EKC model, only temporary results were obtained.

Besides, the same time lag value $\tau = 4$ was obtained for all three types of hazardous substances emissions. Thus, it shows that the cyclicity of hazardous substances emissions volumes dynamics differs from cyclicity of per capita income dynamics with the lag of 4 years.

Figure 3 shows the dynamics of cross-country coefficient (correlogram) between the sulfur dioxide, nitrogen dioxide, carbon oxide and dioxide and GDP in actual prices during 1996–2016.

During 1996–2003, there took place the gradual increase of cross-correlation coefficients values between the sulfur dioxide emissions and GDP values, maximum absolute value $r = 0.9007$ was achieved in 2003. It is close to maximum value ($r = 1$), which confirms the presence of high level of values relationship.

Comparing the obtained results concerning the cross-correlation coefficients with the dynamics of GDP growth rates, sulfur dioxide, nitrogen dioxide, carbon oxide and dioxide emissions during 1991–2017 (Figure 1) shows that only in 2003 there was observed GDP indexes growth with the simultaneous minimum of sulfur dioxide growth rates. Thus, it also

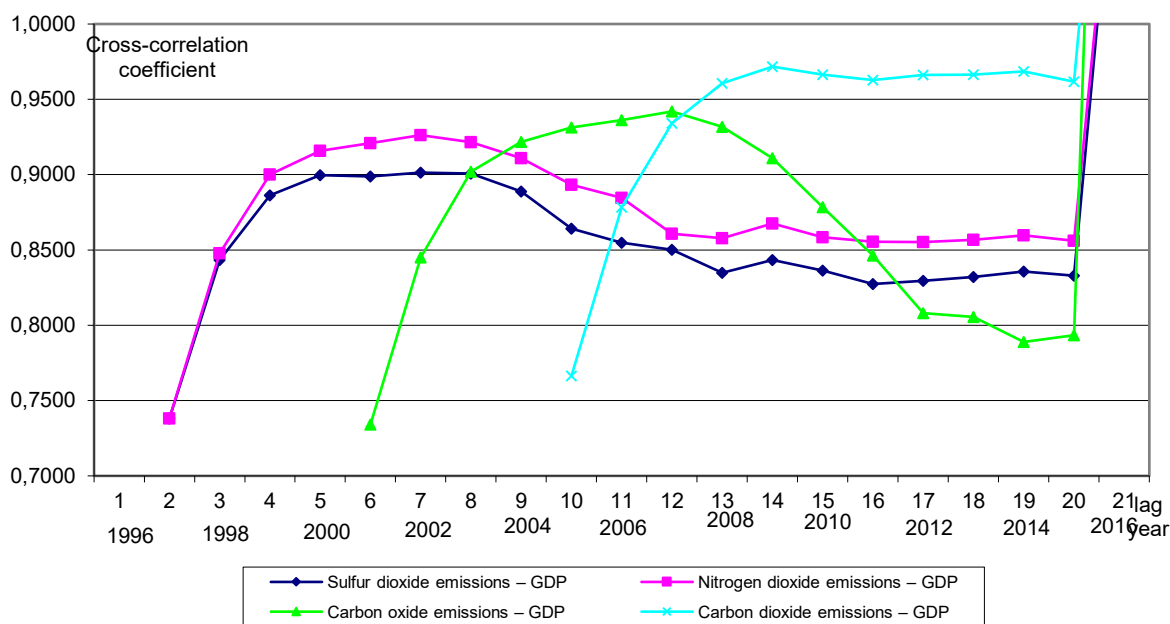


Fig. 3 – Dynamics of cross-correlation coefficient (correlogram) between the sulfur dioxide, nitrogen dioxide, carbon oxide and carbon dioxide emissions volumes and GDP in actual prices

confirms the earlier conclusion about the temporary nature of achieving the turning point at EKC curve.

As for the nitrogen dioxide, during 1996–2003, there also takes place gradual increase of cross-correlation coefficients values between the emissions and GDP values, maximum absolute value $r = 0.9216$ was achieved in 2003. It is close to maximum value ($r = 1$), which shows the presence of high level of values relationship.

In 2003, there was observed the increase GDP indexes growth with the simultaneous minimum of nitrogen dioxide emissions growth rates (Figure 1). During past and future years, similar situation was not observed. As it is seen, maximum value of cross-correlation coefficient was achieved. This coincidence confirms the conclusion about the temporary nature of achieving the turning point at EKC curve.

As for the carbon oxide, during 2000–2007, there also takes place gradual increase of cross-correlation coefficients values between the emissions and GDP values, maximum absolute value $r = 0.9419$ was achieved in 2007. It is close to maximum value ($r = 1$), that is why it is possible to assume the presence of high level of values relationship. The next maximum achieved in 2016 was $r = 1$.

Achievement of maximum value of cross-correlation coefficient in 2007 coincided with the with the disclosed tendency towards the GDP index growth with simultaneous min-

imum of sulfur dioxide and nitrogen dioxide emissions growth rates in 2003 (Figure 1), and the carbon dioxide – in 2007. Thus, similar to relationship between the hazardous substances emissions and per capita income values, the conclusion about the temporary nature of achieving the turning point at EKC curve was confirmed for GDP.

Also it should be noted that the same time lag value $\tau = 7$ was obtained for all three types of hazardous substances emissions. Thus, it is possible to think that the cyclicity of hazardous substances emissions volumes dynamics differs from cyclicity of GDP indexes with the lag of 7 years.

Figure 4 shows the dynamics of cross-correlation coefficient (correlogram) between the sulfur dioxide, nitrogen dioxide, carbon oxide and dioxide emissions volumes and the values of current expenditures on conservation activity during 2000–2016.

The analysis showed that during 2000–2016, there takes place gradual increase of cross-correlation coefficients values between sulfur dioxide emissions and values of current expenditures on conservation activity. It absolutely coincides with the conclusions about the increased effectiveness of financing the measures of environmental protection and their relationship with emissions volumes.

Table 1 analyzes the dynamics of environmental protection expenditure changes.

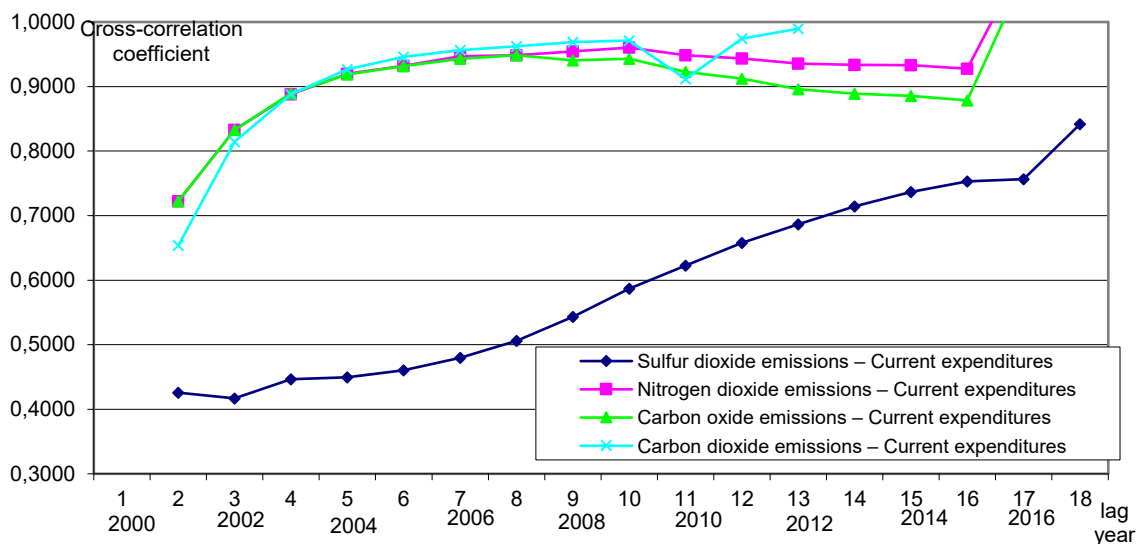


Fig. 4 – Dynamics of cross-correlation coefficient (correlogram) between the sulfur dioxide, nitrogen dioxide, carbon oxide and carbon dioxide emissions volumes and current expenditures

Table 1
Dynamics of budget environmental protection expenditure changes, million UAH

Year	Budget environmental protection expenditure	Growth rate, %	National budget environmental protection expenditure	Growth rate of national budget expenditure, %	Local budgets environmental protection expenditure	Growth rate of local budgets expenditure, %
2007	2241,3		1809,1		432,2	
2008	2764,7	123,35	2230,2	123,28	534,5	123,67
2009	2538,8	91,83	1824,3	81,80	714,5	133,68
2010	2872,4	113,14	2292,7	125,68	579,7	81,13
2011	3890,7	135,45	3008,40	131,22	882,30	152,20
2012	5297,9	136,17	4135,40	137,46	1162,50	131,76
2013	5594,2	105,59	4595,00	111,11	999,20	85,95
2014	3481,7	62,24	2597,00	56,52	884,70	88,54
2015	5529,7	158,82	4053,00	156,06	1476,70	166,92
2016	6255,4	113,12	4771,60	117,73	1483,80	100,48
2017	7349,3	117,49	4739,90	99,34	2609,30	175,85

As one can see, the growth rates of investment are volatile; the slowdown was observed in 2010 - 2013 and 2015, acceleration, on the contrary, in 2009 and 2014. This approach cannot be considered systemic and, as a result, there is lack of radical changes in the environmental situation in the country.

In order to describe the dynamics of the investment, it is possible to propose the model described by the function (2).

The so-called soft one, where the coefficient of investment (ε) depending on the investment:

$$\frac{dN}{dt} = cN - dN^2. \quad (2)$$

Formula (2) describes the logistic model. We consider that it can be used to describe the process of ecological investment growth. The

following expressions for coefficients c and d could be proposed in this model: $c = \varepsilon$, $d = \varepsilon / K$. In this case, the dynamics ecological investment, forming the sufficient level of ecological security, can be described by the logistical equation:

$$\frac{dN}{dt} = \varepsilon N - \frac{\varepsilon}{K} N^2, \quad (3)$$

where ε – constant coefficient of proportionality which is the ratio of the ecological investment growth rate $\frac{dN}{dt}$ to the volume of ecological investment N ;

$K = N_{max}$ – maximum possible and safe rate of ecological investment.

In this model, steady state C is sustainable: higher income – decreases, lower – increases.

The equation (3) can be written in another way:

$$\frac{dN}{dt} = \varepsilon N \frac{K - N}{K} \quad (4)$$

Dividing the variables into equation (4), we obtain:

$$\frac{KdN}{N(K - N)} = \varepsilon dt \quad (5)$$

Taking into account that

$$\frac{1}{N(K - N)} = \frac{1}{KN} + \frac{1}{K(K - N)}, \quad (6)$$

the equation (5) will be:

$$\left(\frac{1}{N} + \frac{1}{K - N} \right) dN = \varepsilon dt \quad (7)$$

After integration (7), we obtain:

$$\int \left(\frac{1}{N} + \frac{1}{K - N} \right) dN = \int \varepsilon dt + A,$$

$$\ln T - \ln(K - T) = \varepsilon t + \ln a, \quad \ln a = A,$$

$$\ln \frac{N}{K - N} = \varepsilon t + \ln a \quad (8)$$

From the equation (8) we find:

$$\frac{N}{K - N} = a e^{\varepsilon t} \quad (9)$$

When $t = 0$, the amount of ecological investment is $R = R_0$, then from the equation (9) we obtain:

$$a = \frac{N_0}{K - N_0}$$

Having solved the equation (8) as to N , we find the function $N = f(t)$ in this form:

$$N(t) = \frac{aK e^{\varepsilon t}}{1 + a e^{\varepsilon t}} \quad (10)$$

If to divide the numerator and denominator of the right part by $e^{\varepsilon t}$, we obtain:

$$N(t) = \frac{aK}{a + e^{\varepsilon t}}, \quad a = \frac{N_0}{K - N_0}, \quad 0 < a < \infty \quad (11)$$

Function (11) can be presented as:

$$N(t) = \frac{K}{1 + \exp(b - \varepsilon t)}, \quad (12)$$

where constant of integration b :

$$b = \ln \frac{1}{a} = \ln \frac{K - N_0}{N_0} \quad (13)$$

The traditional model of the studied dynamics of process` development is: $\frac{dN}{dt} = \varepsilon N$,

parametric variable ε – specific speed of ecological investment is considered to be constant. To take into account the inverse relationship in the economic system, we assume that $r(R)$ is variable, which depends on income:

$$r(R) = b - aR = r_0 - \frac{r_0 R}{K}$$

It is under these conditions we have a logistic model of the rate of return changes` dynamics:

$$\frac{dN}{dt} = \varepsilon(N)N = (b - aN)N = \varepsilon_0 \left(1 - \frac{N}{K}\right)N,$$

$$K = N_{\max}, \quad b = \varepsilon_0, \quad a = \frac{\varepsilon_0}{K}$$

The equation (5) could be presented as:

$$N(t) = \frac{a}{1 + b e^{\varepsilon t}} \quad N(t) = \frac{1}{a b^t + \eta}$$

The upper point of the logistical curve is defined as $\frac{1}{\varepsilon}$; the lower point as $-\frac{1}{a + \varepsilon}$; point of trajectory inflexion $-\frac{1}{2\varepsilon}$.

In our opinion, the logistic equation can be considered an equation that is closest to the conditions of ecological investment sustainable development. Thus, it allows to determine safe limits of ecological investment changes, which is capable to ensure sustainable development. The lower and upper points of the curve`s trajectory are these limits.

Thus, the expedient of developing the agreed policy concerning the economic (GDP value), social (population income level) and environmental components (conservation activity financing and decrease of hazardous substances emissions) taking into account the time lag, which will create the conditions for achieving not only temporary values, but also long-term parameters of EKC curve in the Ukrainian economy, was substantiated.

Conclusions

Based on the analysis of GDP growth rates dynamics, sulfur dioxide, nitrogen dioxide, carbon oxide and dioxide emissions during

1991–2017, the periodicity (cyclicality) of their change lasting from 3 to 5 years was proved.

According to the results of the study on the relationship between the per capita income in Ukraine and sulfur dioxide, nitrogen dioxide, carbon oxide and dioxide emissions volumes during 1991–2017, it was found that Ukraine did not reach a steady turning point, which is present in traditional EKC model. The cyclicity concerning the dynamics of the mentioned indicators change lasting from 3 to 5 years (small cycles) was proved.

Against the background of the analysis of the relationship between the GDP in actual prices and sulfur dioxide, nitrogen dioxide, carbon oxide and dioxide emissions volumes during 1996–2017, it was proved that in Ukraine, EKC on GDP has a specific nature, which is caused by significant dependence of the environmental development indicators based on the hazardous substances emissions criterion from the level of economic development.

The hypothesis about the need to take into account the indicators of conservation activity investment in EKC against the back-

ground of the analysis of the dynamics of the relationship between current and capital expenditures on conservation activity and volumes of sulfur dioxide, nitrogen dioxide, carbon oxide emissions during 2000–2017 was confirmed. The presence of periodicity (cyclicity) of the processes lasting from 3 to 5 years was found.

In Ukraine, EKC has a specific nature in the form of separate “turning points”, without achievement of long-term parameters of the relationship between the hazardous substances emissions and GDP and per capita income values.

Thus, the feasibility of developing the agreed policy concerning the economic (GDP value), social (population income level) and environmental components (conservation activity financing and decrease of hazardous substances emissions) taking into account the time lag, which will create the conditions for achieving not only temporary values, but also long-term parameters of EKC curve in the Ukrainian economy, was substantiated.

Conflict of interests

The authors declare that this article is made within the research 0120U102208 "Multicriteria management of sustainable development of natural economic systems" (Стаття виконана у межах НДР 0120U102208 «Багатокритеріальне управління сталим розвитком природно-господарських систем»). 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. Dergachova, V., Kravchenko, M. & Zgurovsky, A. (2017). Econometric analysis of the structure and sustainability of Ukraine socio-economic system in the context of the economic systems theory. *Problems and Perspectives in Management*, 15(4), 86–89. [http://dx.doi.org/10.21511/ppm.15\(4\).2017.08](http://dx.doi.org/10.21511/ppm.15(4).2017.08)
2. Mykhailova, L., Stoyanets, N., Mykhailov, A., Kharchenko, T. & Bachev, H. (2018). Sustainable development of the Ukrainian agrarian sector: perspectives and challenges. *Problems and Perspectives in Management*, 16(3), 28–39. [http://dx.doi.org/10.21511/ppm.16\(3\).2018.03](http://dx.doi.org/10.21511/ppm.16(3).2018.03)
3. Kandrashina, E. & Zotova, A. (2018). Changes effectiveness assessment on the basis of sustainable development factor, *Problems and Perspectives in Management*, 16(1), 437–444. [http://dx.doi.org/10.21511/ppm.16\(1\).2018.41](http://dx.doi.org/10.21511/ppm.16(1).2018.41)
4. Horoshkova, L.A., Khlobistov, Ie.V. & Trofimchuk, V.O. (2019). Interconnection between economic growth and assimilation potential of the environment considering ensuring sustainable development of the national economy. *Project Management and Production Development*, 1(69), 24–37. Retrieved from <http://www.pmdp.org.ua/images/Journal/69/3.pdf> (in Ukrainian).
5. Horoshkova, L.A., Khlobistov, Ie.V. & Trofimchuk, V.O. (2019). Economic and statistical modeling of determinants of the dynamics of environmental pollution in Ukraine. *Economics and Organization of Management*, 2 (34), 46–55. <https://doi.org/10.31558/2307-2318.2019.2.5> (in Ukrainian).
6. Horoshkova, L.A., Khlobistov, Ie.V. & Trofimchuk, V.O. (2018). Financial mechanisms of sustainable use of territorial resources of natural economic systems. *Theoretical and Practical Aspects of Economics and Intellectual Property*, (18), 275–284. <https://doi.org/10.31498/2225-6407.18.2018.180117> (in Ukrainian).
7. Lopez, R. (1994). The environment as a factor of production: the effects of economic growth and trade liberalization. *Journal of Environmental Economics and Management*, 27(2), 163–184. <https://doi.org/10.1006/jeem.1994.1032>
8. Selden, T. M. & Song, D. (1995). Neoclassical growth, the J curve for abatement and the inverted U curve for pollution. *Journal of Environmental Economics and Management*, 29 (2), 162–168. <https://doi.org/10.1006/jeem.1995.1038>

9. John, A. & Pecchenino, R. (1994). An overlapping generations model of growth and the environment. *Economic Journal*, 104(427), 1393–1410. <https://doi.org/10.2307/2235455>
10. McCONNELL, K. (1997). Income and the demand for environmental quality. *Environment and Development Economics*, 2(4), 383–399. <https://doi.org/10.1017/S1355770X9700020X>
11. Stokey, N.L. (1998). Are there limits to growth? *International Economic Review*, 39(1), 1–31. <https://ideas.repec.org/a/ier/iecrev/v39y1998i1p1-31.html>
12. Stern David I. (2003). The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve. *Rensselaer Working Papers in Economics*, (0302), October. 32. Retrieved from [http://archives.evergreen.edu/webpages/curricular/2005-2006/tesd/Rise%20and%20Fall%20of%20the%20EKC%20\(Stern\).pdf](http://archives.evergreen.edu/webpages/curricular/2005-2006/tesd/Rise%20and%20Fall%20of%20the%20EKC%20(Stern).pdf)
13. Cantore, N. (2006). Exogenous technology as an Environmental Kuznets Curve driving force: an impact assessment. *Mechanism of economy regulation*, (3), 11–26.
14. Nordhaus, W. & Boyer, J. (2000). Rolling the DICE again: economic models of global warming. Cambridge, Massachusetts : MIT Press, 6–8. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/237429571_Roll_the_DICE_Again_Economic_models_of_global_warming
15. Nordhaus, W. Roll the DICE again: the economics of global warming. Retrieved from <http://www.econ.yale.edu/~nordhaus/homepage/rice98%20pap%20121898.PDF>.

Література

1. Dergachova, V., Kravchenko, M. and Zgurovsky, A. (2017) ‘Econometric analysis of the structure and sustainability of Ukraine socio-economic system in the context of the economic systems theory’, *Problems and Perspectives in Management*, Vol. 15, No. 4, pp.86–89. URL: [http://dx.doi.org/10.21511/ppm.15\(4\).2017.08](http://dx.doi.org/10.21511/ppm.15(4).2017.08)
2. Mykhailova, L., Stoyanets, N., Mykhailov, A., Kharchenko, T. and Bachev, H. (2018) ‘Sustainable development of the Ukrainian agrarian sector: perspectives and challenges’, *Problems and Perspectives in Management*, Vol. 16, No. 3, pp.28–39. URL: [http://dx.doi.org/10.21511/ppm.16\(3\).2018.03](http://dx.doi.org/10.21511/ppm.16(3).2018.03)
3. Kandrashina, E. and Zotova, A. (2018) ‘Changes effectiveness assessment on the basis of sustainable development factor’, *Problems and Perspectives in Management*, Vol. 16, No. 1, pp.437–444. URL: [http://dx.doi.org/10.21511/ppm.16\(1\).2018.41](http://dx.doi.org/10.21511/ppm.16(1).2018.41)
4. Горошкова, Л.А., Хлобистов, Є.В., Трофимчук, В.О. Взаємозв’язок економічного зростання та асиміляційного потенціалу довкілля у забезпеченні сталого розвитку національного господарства. *Управління проектами та розвиток виробництва*. 2019. № 1(69). С. 24–37. URL: <http://www.pmdp.org.ua/images/Journal/69/3.pdf>
5. Горошкова, Л.А., Хлобистов, Є.В., Трофимчук, В.О. Економіко-статистичне моделювання детермінант динаміки забруднення довкілля України. *Економіка і організація управління*. 2019. № 2 (34). С.46–55. URL: <https://doi.org/10.31558/2307-2318.2019.2.5>
6. Горошкова, Л.А., Хлобистов, Є.В., Трофимчук, В.О. Фінансові механізми сталого використання територіальних ресурсів природно-господарських систем. *Теоретичні і практичні аспекти економіки та інтелектуальної власності: збірник наукових праць*. Маріуполь: ДВНЗ «ПДТУ», 2018. № 18. С.275–284. URL: <https://doi.org/10.31498/2225-6407.18.2018.180117>
7. Lopez R. The environment as a factor of production: the effects of economic growth and trade liberalization. *Journal of Environmental Economics and Management*. 1994. № 27. P. 163–184. URL: <https://doi.org/10.1006/jeem.1994.1032>
8. Selden T. M., Song D. Neoclassical growth, the J curve for abatement and the inverted U curve for pollution. *Journal of Environmental Economics and Environmental Management*. 1995. № 29. P. 162–168. URL: <https://doi.org/10.1006/jeem.1995.1038>
9. John A., Pecchenino R. An overlapping generations model of growth and the environment. *Economic Journal*. 1994. № 104. P. 1393–1410. URL: <https://doi.org/10.2307/2235455>
10. McConnell K.E. Income and the demand for environmental quality. *Environment and Development Economics*. 1997. № 2. P. 383–399. <https://doi.org/10.1017/S1355770X9700020X>
11. Stokey N.L. Are there limits to growth? *International Economic Review*. 1998. Vol. 39, No. 1. P. 1–31. URL: <https://ideas.repec.org/a/ier/iecrev/v39y1998i1p1-31.html>
12. Stern David I. The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve. *Rensselaer Working Papers in Economics*. 2003. No. 0302, October. 32 p. URL: [http://archives.evergreen.edu/webpages/curricular/2005-2006/tesd/Rise%20and%20Fall%20of%20the%20EKC%20\(Stern\).pdf](http://archives.evergreen.edu/webpages/curricular/2005-2006/tesd/Rise%20and%20Fall%20of%20the%20EKC%20(Stern).pdf)
13. Cantore N. Exogenous technology as an Environmental Kuznets Curve driving force: an impact assessment. *Механізм регулювання економіки*. 2006. № 3. С. 11–26.
14. Nordhaus W., Boyer J. Rolling the DICE again: economic models of global warming. Cambridge, Massachusetts : MIT Press, 2000. P. 6–8. URL: https://www.researchgate.net/publication/237429571_Roll_the_DICE_Again_Economic_models_of_global_warming
15. Nordhaus W. Roll the DICE again: the economics of global warming. – 79 p. : <http://www.econ.yale.edu/~nordhaus/homepage/rice98%20pap%20121898.PDF>.

БІОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК (UDC): 591.5:591.9:59.5(477.74)

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-23-08>

S. M. SNIHIROV¹, PhD (Biology), V. I. MEDINETS¹, PhD (Physics and Mathematics),
A. N. ABAKUMOV¹, V. Z. PITSYK¹, P. M. SNIGIROV¹, I. E. SOLTYS¹, O. P. KONAREVA¹,
V. V. ZAMOROV¹, PhD (Biology)
¹Odessa National I. I. Mechnikov University,
Mayakovsky lane 7, Odessa, Ukraine

E-mail: snigirev@te.net.ua
medinets@te.net.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3287-2519>
<http://orcid.org/0000-0001-7543-7504>

alex.n.abakumov@gmail.com

v.z.pitsyk@gmail.com

snigirov@gmail.com

i.soltys@onu.edu.ua

<https://orcid.org/0000-0001-5109-1975>

o.konareva@onu.edu.ua

<https://orcid.org/0000-0001-5109-1975>

v.zamorov@onu.edu.ua

<https://orcid.org/0000-0001-5921-1580>

THE RESULTS OF ZMIINYI ISLAND (BLACK SEA) COASTAL WATERS ICHTHYOFAUNA MONITORING IN 2016-2017

Purpose. To study the state of ichthyofauna in the Zmiinyi Island coastal waters in 2016-2017.

Methods. Standard methods of ichthyofauna sampling, determination, abundance and biomass estimation.

Results. During the period of studies, 68 species of marine, brackish-water and freshwater fish were found in the Zmiinyi Island area belonging to 18 orders, 41 families and 55 genera. The biggest number of taxa belongs to Perciformes order. The representatives of this order make one-half of all the species found near the island. Indicators of ichthyofauna species diversity in the Zmiinyi Island area were gradually decreasing in the period from 2003 to 2009. In 2015-2016 all those indicators grew significantly. Biodiversity level (Shannon index values calculated coming out of number) in 2016 varied from 0.86 to 3.06 making in the average 2.06; in 2017 – from 2.40 to 2.54 making in the average 2.47. Minimal values of biodiversity indicators were registered in the end of autumn and in winter, maximal – in May-June. In the Zmiinyi Island coastal waters 30.9% of all the fishes registered in the Black Sea were found. The fishes caught near the island belonged to 5 ecological groups. The basis of ichthyofauna in the area was formed by marine fish species – 52 species (76.5 % of the total number of species). Most of species (54 species or 89.4%) were bottom-dwelling or near-bottom. Pelagophylic and protecting species prevailed and their numbers were almost equal (24 species or 35.3% and 23 species or 33.8% respectively). On the type of feeding, predatory (37%) and benthos-eating (33%) species prevailed. Out of 68 species found in the island area, 16 species are included into the Red Book of Ukraine, 22 species – into the Black Sea Red Data Book, 7 species – into the IUCN Red List. More than one-half of the species registered in the area (36 species or 52% of all the species) have a protected status.

Conclusions. Results of analysis of biodiversity, structural characteristics and taxonomic composition of ichthyofauna in the Zmiinyi Island coastal waters have been presented. Seasonal dynamics of its number and biomass has been studied. The results of the analysis of some aspects of ecology and biology of the main mass species of fish are presented. Recommendations are given to improve monitoring of the ichthyofauna of coastal waters. Quality of bottom communities monitoring in the Zmiinyi Island coastal waters can be increased significantly by development and implementation of non-contact low-budget video-monitoring methods to solve the problem of fish stock and biodiversity studying in inaccessible areas. It is anticipated that the method developed will help high precision assess of fish stock in inaccessible shelf areas where application of other methods is

© Снігірев С. М., Мединец В. И., Абакумов А. Н., Пицьк В. З., Снігірев П. М., Солтыс И. Е.,
Конарева О. П., Заморов В. В., 2020



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

connected with technical difficulties, high cost and can lead to unreliable results. Elaboration of the method aimed at development of video materials received computer processing algorithms will significantly simplify analysis of the data collected.

KEYWORDS: ichthyofauna, biodiversity, abundance, biomass, Zmiinyi Island

Снігір'ов С. М.¹, Медінець В. І.¹, Абакумов О. М.¹, Піцик В. З.¹, Снігір'ов П. М.¹, Солтис І. Є.¹,
Конарева О. П.¹, Заморів В. В.¹

¹Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, м. Одеса, Україна

РЕЗУЛЬТАТИ МОНІТОРИНГУ ІХТІОФАУНИ ПРИБЕРЕЖНИХ ВОД ОСТРОВА ЗМІЙНИЙ (ЧОРНЕ МОРЕ) У 2016-2017 РР.

Мета. Вивчення сучасного стану іхтіофауни прибережних вод острова Зміїний в 2016-2017 рр.
Методи. Стандартні методи відбору, визначення, оцінки чисельності і біомаси іхтіофауни.

Результати. Протягом досліджень виявлено 68 видів морських, солонуватоводних і прісноводних риб, що належать до 18 рядів, 41 родини, 55 родів. Найбільше число таксонів включає ряд окунеподібних Perciformes. Рівень біорізноманіття іхтіофауни (індекс Шеннона, розрахований за чисельністю) в 2016 році коливався в межах 0,86-3,06, в середньому складаючи 2,06, в 2017 – 2,40-2,54, в середньому – 2,47. Мінімальні показники біорізноманіття відзначені в кінці осені і в зимовий період, максимумами – в травні-червні. Всього в прибережних водах у о. Зміїний відзначено 30,9% від усіх видів риб, зареєстрованих в Чорному морі. Виловлені у о. Зміїний риби відносяться до 5 екологічних груп. Основу іхтіофауни цього району утворюють власне морські риби – 52 види (76,5% загальної кількості виявлених видів), більшість видів (54 види – 89,4%) ведуть донний і придонний спосіб життя, майже в рівній кількості переважають пелагофіли і охороняючи (24 виду – 35,3% і 23 види – 33,8%, відповідно), за характером живлення провідне місце в рівній кількості займають хижи і бентофаги. З 68 знайдених біля острова видів 16 видів занесені в списки Червоної книги України, 22 вид занесені до Червоної книги Чорного моря, 7 видів - до Червоного списку МСОП. Більше половини – 36 видів (52,9% загального числа видів) з виявлених у острова видів мають охоронний статус.

Висновки. Наведено результати аналізу біорізноманіття, структурних характеристик, таксономічного складу іхтіофауни прибережних вод острова Зміїний. Досліджено сезонну динаміку чисельності і біомаси. Наведено результати аналізу деяких аспектів екології та біології основних масових видів риб. Наведено рекомендації щодо поліпшення моніторингу іхтіофауни прибережних вод. Рівень якості моніторингових досліджень донних співтовариств прибережних вод острова Зміїний, включаючи іхтіофауну, може бути значно підвищений у разі розробки і застосування безконтактних методів відеоспостережень для вирішення проблеми вивчення стану запасів риб, їх біорізноманіття в важкодоступних місцях. Розвиток методу, спрямований на створення алгоритмів комп'ютерної обробки отриманих відеоматеріалів, дозволить значно полегшити аналіз отриманих даних.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: іхтіофауна, біорізноманіття, чисельність, біомаса, острів Зміїний

Снигирев С. М.¹, Медінец В. И.¹, Абакумов А. Н.¹, Пицк В.З.¹, Сннгирев П. М.¹, Солтыс І. Е.¹,
Конарева О. П.¹, Заморів В. В.¹

¹Одесский национальный университет имени И. И. Мечникова, г. Одесса, Украина

РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ИХТИОФАУНЫ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД ОСТРОВА ЗМЕИНЫЙ (ЧОРНОЕ МОРЕ) В 2016-2017 РР.

Цель. Изучение состояния ихтиофауны в прибрежных водах острова Змеиный в 2016-2017 гг.
Методы. Стандартные методы отбора, определения, оценки численности и биомассы ихтиофауны.

Результаты. В течение исследований обнаружено 68 видов морских, солонуватоводных и пресноводных рыб, принадлежащих к 18 отрядам, 41 семейству, 55 родам. Наибольшее число таксонов включает отряд окунеобразные Perciformes. Уровень биоразнообразия ихтиофауны (индекс Шеннона, рассчитанный по численности) в 2016 году колебался в пределах 0,86-3,06, в среднем составляя 2,06, в 2017 – 2,40-2,54, в среднем – 2,47. Минимальные показатели биоразнообразия отмечены в конце осени и в зимний период, максимумы индекса биоразнообразия были отмечены в мае-июне. Всего в прибрежных водах у о. Змеиный отмечено 30,9% от всех видов рыб, зарегистрированных в Черном море. Выловленные у о. Змеиный рыбы относятся к 5 экологическим группам. Основу ихтиофауны этого района образуют собственно морские рыбы – 52 вида (76,5% общего количества обнаруженных видов), большинство видов (54 вида – 89,4%) ведут донный и придонный образ жизни, почти в равном количестве преобладают пелагофилы и охраняющие (24 вида – 35,3% и 23 вида – 33,8%, соответственно), по характеру питания ведущее место в равном количестве занимают хищные и бентофаги. Из 68 найденных у острова видов 16 видов занесены в списки Красной книги Украины, 22 вида - в Красную книгу Черного моря, 7 видов – в Красный список МСОП. Более половины – 36 видов (52,9% общего числа видов) из обнаруженных у

острова видов имеют охранный статус.

Выводы. Проанализировано биоразнообразие, структурные характеристики, таксономический состав и сезонная динамика численности и биомассы ихтиофауны прибрежных вод острова Змеиный. Приведены рекомендации по улучшению мониторинга ихтиофауны прибрежных вод. Уровень качества мониторинговых исследований донных сообществ прибрежных вод острова Змеиный, включая ихтиофауну, может быть значительно повышен в случае разработки и применения бесконтактных малобюджетных методов видеонаблюдения для решения проблемы изучения состояния запасов рыб, их биоразнообразия в труднодоступных местах. Развитие метода, направленное на создание алгоритмов компьютерной обработки полученных видеоматериалов, позволит значительно облегчить анализ полученных данных.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ихтиофауна, биоразнообразие, численность, биомасса, остров Змеиный

Introduction

The most complete ichthyofauna studies in the north-western Black Sea were performed by the outstanding scientists of the 19th and 20th centuries I.M. Vidgalm, A.V. Yatsentkovskiy, P.Yu. Shmidt, A.N. Popov, V.A. Krotov, D.K. Tretyakov, V.S. Chepurnov and N.S. Burnashev, K.A. Vinogradov, F.S. Zambriborsch [1, 2]. First brief information on ichthyofauna of the Zmiinyi Island coastal waters were presented in the works by A. D. Nordman, G.O. Solianik, A. Borza, R. Calienescu [1, 2]. The comprehensive hydrobiological and ichthyological studies of the

island coastal waters were performed in 1993-1997 by the researchers of the Institute of Biology of Southern Seas, Odessa Branch (OB IBSS) [1]. From 2003 till present regular observations of ichthyofauna are being performed by the staff of the Research Station «Zmiinyi Island» of Odessa National I.I. Mechnikov University; their results were partly described in the papers [1, 2-9].

The purpose of the present research was to study the state of ichthyofauna in the Zmiinyi Island coastal waters in 2016-2017.

Materials and Methods

The results of ichthyological observations carried out by the staff of the “Zmiinyi Island” Research Station in 2016-2017 in the framework of the research projects funded by the Ministry of Education and Science of Ukraine and the EMBLAS-II International Project have been used. Most of ichthyological studies (about 90.0% of fishing) were carried out in the coastal waters of the Zmiinyi Island at the distance of up to 5.0 km from the coastline (Fig. 1).

Fishing gear were set in the coastal zone of the island, the area of which totaled to ca. 2.0 km². Standard ichthyological fishing methods were used [10, 11]:

- gillnets and Nieman nets (length 100.0 m, mesh size 1.6-10.0 cm, material – kapron, monofilament) at the depths 1.5-30 m, distance from water edge 2.0 - 500.0 m. In case the nets were set on stony substrate they were placed under water between stones and boulders by divers. The nets were set at 1.00-3.00 p.m. and checked once a day;

- rectangular fish traps with openings on each side (mesh size 0.8 cm);

- dual trap net (length 3.0 m, mesh size 0.8 cm).

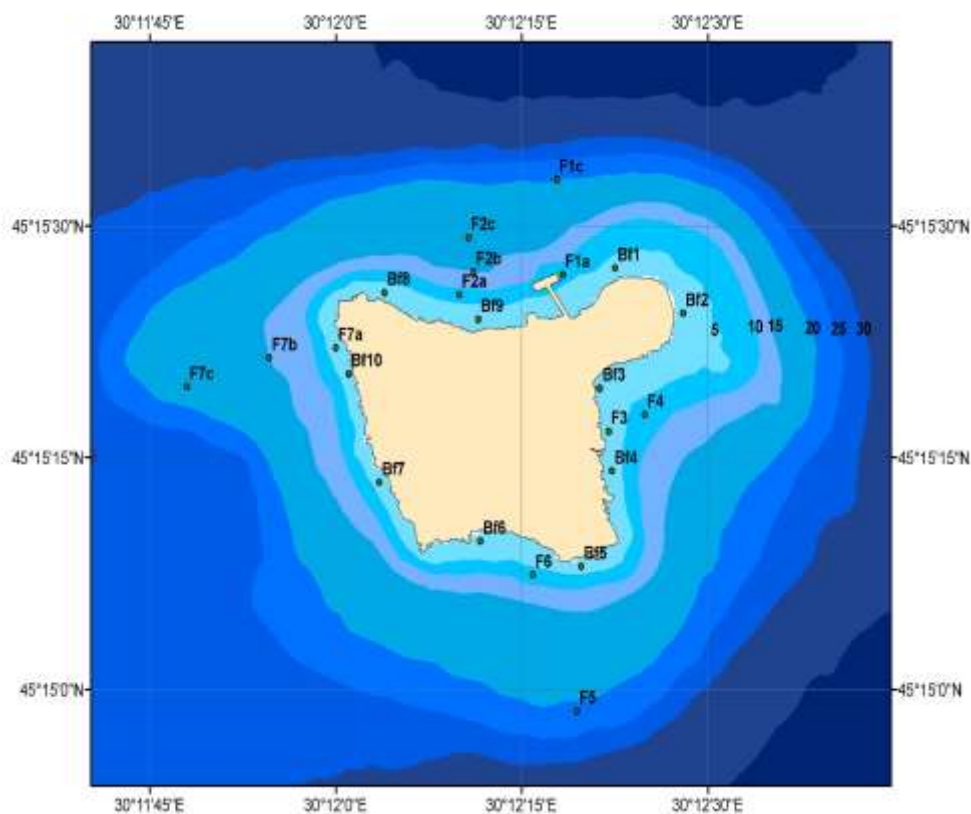
- flat-bottom fry net (diameter 1.5 m, mesh size 0.6 cm);

- big aquarium dip-net (diameter 0.5 m, mesh size 0.02 cm);

- hook and line gear with natural and artificial bites.

To assess fish number in the period of studies near the island coast (depth 1.0 – 1.5 m) we have selected plots of stony substrate (boulders) with the area of ca. 1.0 m². In those areas observations and catching of fishes belonging to families Gobiidae, Blenniidae, Gobiiesocidae, and Labridae were carried out from 12.00 to 3.00 p.m. in the days when the conditions were the following: water transparency – not less than 2.0 m, waves – under force 1, no clouds. Underwater observations, description of bottom relief and substrate in the areas of ichthyological material collecting were performed using diving outfit in accordance with the methodologies [12-14].

Fish species identification was done in field conditions using key-books [15-30]. h taxonomy is presented in accordance with the Black Sea Fish Check List [31].



Notes: -5-.... -35 – isobaths with depth; F1 – F7 – ichthyological stations (depth from 5.0 to 30.0 m); Bf1 – Bf10 – coastal ichthyological stations (depth not more than 2.0 m)

Fig. 1 – Schematic map of ichthyological stations location near the Zmiinyi Island

Ecological characteristic of species is presented in accordance with [18-24]. Analysis of fishing dynamics was done coming out of size of catch per fishing effort – quantity of individuals per one 100 m long fishing net per day (ind/day). Full biological analysis of the caught fish was performed according to general methodologies [10, 11, 32]. During the analysis we measured: general (absolute or zoological) length (cm), commercial (standard) length (cm), body mass (g), identified fish sex, stage of gonads maturity, stomach fullness level on a scale from 1 to 3. Digestive tracts of fish were fixed

with 4% formaldehyde for subsequent laboratory study. Otoliths reading was performed to determine fish age. Fertility was calculated using eggs quantity in the ovaries of females at 4th and 5th stages of maturity.

Studying ichthyofauna diversity, we used three indicators of community species composition calculated in accordance with general formulas: Margalef's species richness index [33], Shannon index of general diversity [34] and Pielou evenness index [35]. Indices were calculated coming out of number. Statistical processing was performed using Excel 7.0.

Results and Discussion

General characteristics of fish habitat. As a biotope characteristics determine species composition and structure of the organisms forming biocoenoses around the island, we identified four main biotopes depending on

bottom substrate type based on results of the studies carried out from 2003 to 2017 [1, 2, 9 36, 37]: stones and boulders; mixed substrate; sand, shelly ground; sand, shelly ground and silt. The areas covered by those substrates

where different in size: stones and boulders – ca. 0.2 km², mixed substrate – ca. 0.1 km², sand and shelly ground – ca. 0.2 km², sand, shelly ground and silt – ca. 1.5 km² [1, 2]. Right near the island (depth of ca. 8.0 m) stones and boulders can be found. The highest number of taxa was registered there (33 to 37), as well as maximal number of benthic organisms. The most mass species, mussel, forms a mussel biocoenoses typical of the Black Sea coastal areas (*M. galloprovincialis* – up to 100% of surface coverage) with a respective composition of different crustaceans, polychaetes, bryozoans, actiniae and many other invertebrates. This substrate is notable for the highest macrophytes biomass. All that attracts lot of different fish species, especially juveniles during feeding period. The state of the bottom areas covered with stones and boulders could be considered satisfactory during 2016-2017. Insignificant local fish-kill phenomena were only registered in summer of 2016 in the deepest areas between stones where water mixing is weak in the periods of windless conditions.

Mixed substrate found at the depth of 8.0-12.0 m near the island consists of boulders lying separately on soft soil (sand, shelly ground). There 11 to 34 macrozoobenthos taxa were registered, as well as numerous macrophytes and fish. No fish-kills were found at those areas in 2016-2017.

Analysis of the materials collected from the depth of 12.0 to 37.0 m has shown that sand and shelly ground (45.0%) and shelly (47.0%) substrate dominate in the studied areas around the island. Share of silty and silt and shelly ground substrate is insignificant – 3.0 and 5.0% respectively. Sand and shelly ground where we previously (2003-2005) observed biocoenoses of mussels *M. galloprovincialis* were located within the depth range of 12.0 – 20.0 m. The substrate formed by soft soils – sand, shelly ground and silt was found at the depths exceeding 20.0 m. On sand and shelly ground 19 - 35 taxa of benthos were found. On softer soils benthos was more diverse (9 to 16 taxa) and its biomass was insignificant. Biocoenoses of those biotopes were exposed to the most significant changes. The kill phenomena typical of the north-western Black Sea were observed in those bottom areas quite regularly. We have to underline that mussel biocoenoses previously found on soft substrate were practically destroyed by predatory mollusc *Rapa*

whelk; recently *Rapa* whelk individuals distributed significantly in the coastal areas near the island. As the result of its negative impact the bottom area with dense aggregations of mussels shrunk from 78 Ha in 2004-2005 to 19 Ha in 2010-2014, at that the total biomass of macrozoobenthos decreased from 8300 t to 3700 t [39]. No kill phenomena were observed on soft soils in 2016-2017. Visual observations at the depth of 15.0-20.0 m registered different species of crabs and other crustaceans quite often, which evidenced the satisfactory state of soft soil biocoenoses.

General ichthyofauna characteristics. Species composition and biodiversity of ichthyofauna. During the period from 2003 to 2017, 68 species of marine, brackish-water and freshwater fish were found in the Zmiinyi Island area belonging to 18 orders, 41 families and 55 genera (Table 1).

In the period from April to December 2016, around 50 fish species were registered in the island coastal waters; during 2 months (May and June) of 2017 – 37 species (Table 1).

Out of 68 species of marine, brackish-water and freshwater fish, the biggest number of taxa belong to Perciformes order. Half of all the species found near the island are the representatives of this order (Tables 2, 3).

Analysis of the results received in April-December 2016 and May-June 2017 had shown that the level of ichthyofauna biodiversity (Shannon index calculated coming out of number) varied in 2016 from 0.86 to 3.06 making in average 2.06, in 2017 – 2.40-2.54, with average value 2.47 (Fig. 2).

Minimal indicators of biodiversity were registered in the end of autumn and in winter when most of fishes migrated for wintering to deep areas and the thermophilic species migrated to the coasts of the Crimea, Georgia and Turkey. Maximums of biodiversity index were registered in May-June – the period when many different fish species came to the island coastal zone to spawn, as well as in October – the period of feeding and winter migration for many ichthyofauna species.

Ichthyofauna structure. Fishes caught near the Zmiinyi Island belong to 5 ecological groups. The basis of ichthyofauna in the area is formed by sea fish – 52 species or 76.5% of all the species found (Table 4).

Other groups in the island coastal waters are presented by lower number of species:

Table 1
Taxonomic composition of the Zmiinyi Island coastal ichthyofauna: ecological characteristics, protection status and occurrence of species

Taxa	Ecological characteristics	Protection status	Occurrence of species						
			2003-17	2016				2017	
				IV-V	VI-VIII	IX-XI	XII	V	VI
Squalidae									
<i>Squalus acanthias</i> L., 1758	I; M; P; Ov	1R	++	++	-	++	++	-	-
Rajidae									
<i>Raja clavata</i> L., 1758	I; M; NB; LPsp	1R	++	++	-	-	-	++	-
Dasyatidae									
<i>Dasyatis pastinaca</i> (L., 1758)	I; M; NB; Ov		++	-	++	-	-	-	-
Acipenseridae									
<i>Acipenser stellatus</i> Pallas, 1771	III; M; NB; Lp	1R; 2R; 3R	+	-	-	-	-	-	-
<i>A. gueldenstaedtii</i> Brandt et Ratzeburg, 1833	III; M; NB; Lp	1R; 2R; 3R	+	-	-	-	-	-	-
<i>Huso huso</i> (L., 1758)	III; M; NB; Lp	1R; 3R	+	-	-	-	-	-	-
Engraulidae									
<i>Engraulis encrasicolus</i> (L., 1758)	I; M; P; Pf		++	++	++	++	++	++	++
Clupeidae									
<i>Alosa maeotica</i> (Grimm, 1901)	III; M; P; Pf		++	++	-	+	-	-	-
<i>Sprattus sprattus</i> (L., 1758)	I; M; P; Pf		++	++*	+++*	+++*	-	+	+
Cobitidae									
<i>Misgurnus fossilis</i> (L., 1758)	IV; S; B; Pp		+	-	-	-	-	-	-
Cyprinidae									
<i>Carassius gibelio</i> (Bloch, 1782)	IV; S; NB; Pp		+	-	-	-	-	-	-
<i>Rutilus rutilus</i> (L., 1758)	IV; S; NB; Pp		+	-	-	-	-	-	-
Siluridae									
<i>Silurus glanis</i> L., 1758	IV; S; B; Bnp		+	-	-	-	-	-	-
Salmonidae									
<i>Salmo labrax</i> Pallas, 1814	III; M; P; Lp	1R; 3R	+	-	+	-	-	-	-
Phycidae									
<i>Gaidropsarus mediterraneus</i> (L., 1758)	I; S; B; Pf		++	++	++	++	++	++	++
Gadidae									
<i>Merlangius merlangus euxinus</i> (Nordmann, 1840)	I; M; NB; Pf		++	++	++	++	++	++*	++*
Ophidiidae									
<i>Ophidion rochei</i> Muller, 1845	I; S; B; Pf		++	++*	+++*	+++*	+	++*	++*
Mugilidae									

Taxa	Ecological characteristics	Protection status	Occurrence of species						
			2003-17	2016				2017	
				IV-V	VI-VIII	IX-XI	XII	V	VI
<i>Liza aurata</i> (Risso, 1810)	I; M; P; Pf		++	++*	++	++	-	+	++
<i>L. haematocheila</i> (Temminck et Schlegel, 1845)	I; M; P; Pf		++	-	+++*	-	-	-	+
Atherinidae									
<i>Atherina pontica</i> (Eichwald, 1831)	I; M; P; Pp		++	++	++	+++*	-	++*	++
Belonidae									
<i>Belone belone euxini</i> Gunther, 1866	I; M; P; Pp	2R	++	-	+	+++*	-	-	+
Gasterosteidae									
<i>Gasterosteus aculeatus</i> L., 1758	I; S; NB; Bnp		+	+	-	-	-	-	-
Syngnathidae									
<i>Hippocampus hippocampus</i> (L., 1758)	I; S; NB; Ce	2R; 3R	++	+	+++*	+++*	-	-	++*
<i>Nerophis ophidion</i> (L., 1758)	I; S; NB; Ce	2R	+	-	-	-	-	-	-
<i>Syngnathus abaster</i> Risso, 1827	I; S; NB; Ce	1R	+	-	+	-	-	-	+
<i>S. acus</i> L., 1758	I; S; NB; Ce		+	-	+	-	-	-	-
<i>S. tenuirostris</i> Rathke, 1837	I; S; NB; Ce	2R; 3R	+	-	-	-	-	-	-
<i>S. typhle</i> L., 1758	I; S; NB; Ce	2R	+	-	+	-	-	-	+
<i>S. variegatus</i> Pallas, 1814	I; S; NB; Ce	3R	+	-	-	-	-	-	-
Scorpaenidae									
<i>Scorpaena porcus</i> L., 1758	I; S; B; (Lp)Pf	2R	++	++	++	++	++	++	++
Triglidae									
<i>Chelidonichthys lucernus</i> L., 1758	I; S; B; Pf	2R; 3R	+	-	-	-	-	-	-
Pomatomidae									
<i>Pomatomus saltatrix</i> (L., 1766)	I; M; P; Pf		++	-	++	++	-	-	-
Carangidae									
<i>Trachurus mediteraneus ponticus</i> Aleev, 1956	I; M; P; Pf		++	-	++	++	-	-	++
Sparidae									
<i>Diplodus annularis</i> (L., 1758)	I; S; NB; Pf	2R	+	-	-	-	-	-	-
Centracanthidae									
<i>Spicara flexuosa</i> Rafinesque, 1810	I; S; P; Bnp		+	+	-	-	-	-	+
Centrarchidae									
<i>Lepomis gibbosus</i> (L., 1758)	IV; S; NB; Bnp		+	-	-	-	-	-	-
Sciaenidae									
<i>Sciaena umbra</i> L., 1758	I; S; NB; Pf	3R	+	-	-	-	-	-	-
<i>Umbrina cirrosa</i> (L., 1758)	I; S; NB; Pf	3R	+	-	-	+	-	-	-

Taxa	Ecological characteristics	Protection status	Occurrence of species						
			2003-17	2016				2017	
				IV-V	VI-VIII	IX-XI	XII	V	VI
Mullidae									
<i>Mullus barbatus ponticus</i> Essipov, 1927	I; S; B; Pf	2R	++	++	++	+++*	-	++	++
Pomacentridae									
<i>Chromis chromis</i> (L., 1758)	I; S; NB; Bnp	3R	+	-	+*	-	-	-	-
Labridae									
<i>Symphodus cinereus</i> (Bonnaterre, 1788)	I; S; NB; Bnp		++	++	++	++	+*	++	++
<i>S. ocellatus</i> (Forsskål, 1775)	I; S; NB; Bnp	2R	+	+*	+*	+*	-	-	+*
<i>S. tinca</i> (L., 1758)	I; S; NB; Bnp	2R	+	-	-	-	-	-	+*
Ammodytidae									
<i>Gymnammodytes cicerellus</i> (Rafinesque, 1810)	I; S; B; Psp		++	+*	+++*	+++*	-	-	++ *
Trachinidae									
<i>Trachinus draco</i> L., 1758	I; S; B; Pf	2R	+	-	+	+	-	+	+
Uranoscopidae									
<i>Uranoscopus scaber</i> L., 1758	I; S; B; Pf	2R	+	+	+	+	-	+	+
Blenniidae									
<i>Aidablennius sphyinx</i> (Valenciennes, 1836)	I; S; B; Bnp	2R	++	+++*	+++*	+++*	++ *	++ *	++ *
<i>Parablennius sanguinolentus</i> (Pallas, 1814)	I; S; B; Bnp		++	++	++	++	+*	++	++
<i>P. tentacularis</i> (Brünnich, 1768)	I; S; B; Bnp		++	++	++	++	+*	++	++
<i>P. zvonimiri</i> (Kolombatović, 1892)	I; S; B; Bnp		+	+*	+*	+*	-	+*	+*
<i>Salaria pavo</i> (Risso, 1810)	I; S; B; Bnp	2R	+	-	+*	+*	-	+*	+*
Callionymidae									
<i>Callionymus risso</i> Lesueur, 1814	I; S; B; Pf	3R	+	-	-	-	-	-	-
Gobiidae									
<i>Aphia minuta</i> (Risso, 1810)	I; M; P; Pp		+	+*	-	+*	-	-	-
<i>Benthophilus nudus</i> (Berg, 1898)	II; S; B; Bnp		+	-	-	-	-	-	-
<i>Gobius niger</i> L., 1758	I; S; B; Bnp		++	+++*	+++*	+++*	+*	+*	++ *
<i>G. paganellus</i> L., 1758	I; S; B; Bnp	3R	+	-	+*	+*	-	-	+*
<i>Mesogobius batrachocephalus</i> (Pallas, 1814)	II; S; B; Bnp	2R	++	++	++	++	+	++	++
<i>Neogobius cephalargoides</i> Pinchuk, 1976	II; S; B; Bnp		+	-	-	-	-	-	-
<i>N. melanostomus</i> (Pallas, 1814)	II; S; B; Bnp		++	++	++	++	++	++	++

Taxa	Ecological characteristics	Protection status	Occurrence of species						
			2003-17	2016				2017	
				IV-V	VI-VIII	IX-XI	XII	V	VI
<i>N. ratan</i> (Nordmann, 1840)	II; S; B; Bnp	2R	++	+*	++*	+*	-	+*	++*
<i>Proterorhinus marmoratus</i> (Pallas, 1814)	II; S; B; Bnp	2R	+	-	+*	+*	-	-	+*
Scombridae									
<i>Sarda sarda</i> (Bloch, 1793)	I; M; P; Pf	2R	+	-	-	+*	-	-	-
Gobiesocidae									
<i>Diplecogaster bimaculata</i> (Bonnaterre, 1788)	I; S; B; Bnp	3R	+	-	+*	+*	-	-	-
<i>Lepadogaster candollii</i> Risso, 1810	I; S; B; Bnp	3R	++	++*	++*	++*	++*	+*	++*
Scophthalmidae									
<i>Psetta maeotica</i> (Pallas, 1814)	I; S; B; Pf		++	++	+*	++	-	++	+*
Pleuronectidae									
<i>Platichthys flesus luscus</i> (Pallas, 1814)	I; S; B; Pf		+	+	-	-	-	+	-
Bothidae									
<i>Arnoglossus kessleri</i> Schmidt, 1915	I; S; B; Pf	3R	+	-	+*	+*	-	-	-
Soleidae									
<i>Pegusa lascaris</i> (Risso, 1810)	I; S; B; Pf	2R	+	+	-	+	-	-	-
Bcezo		30	68	32	39	38	14	25	35

Notes: Ecological and faunistic characteristics of species: I – marine; II – brackish-water; III – anadromous; IV – freshwater (including semi-anadromous); M – migratory; S – sedentary; B – bottom-dwelling; P – pelagic, NB – near-bottom; Pf – pelagophyl; Pp – phytophyl; Lp – lithophyl; Psp – psammophyl; LPsp – lithopsammophyl; Ce – carrying eggs; Ov – ovoviviparous; Bnp – building nests and protecting eggs. Protection status: 1R – IUCN Red List; 2R – Black Sea Red Data Book; 3R – Red Book of Ukraine. Occurrence of species: – species not found, + – rare species, ++ – common and mass species, * – species registered by visual observation.

brackish-water species – 8.7%, freshwater species – 7.4%, anadromous species – 7.4%.

Most of species (54, or 89.4% of species) are bottom-dwelling and near bottom. The group of pelagic fish is represented by much lower number of species (14, or 20.6% of species).

As to spawning habits, pelagophyls and protecting species equally dominate in the island coastal waters (24 species or 35.3% and 23 species or 33.8% respectively). The quantity of phytophyls, lithophyls, psammophyls and lithopsammophyls is insignificant, their shares are, respectively, 8.8; 5.9; 1.5 and 1.5%. Seven species of Syngnathidae family (10.3%) lay eggs in brood pouch. Two species (2.9%), dogfish and chuco, are ovoviviparous. On

feeding habits, predatory and benthos-eating species equally dominate, comprising one-half of all the species found in the area. The share of the rest of species is much smaller.

Analysis of the mass species number and biomass, size, age and sex composition and feeding habits of mass species had shown the following. During the year 2016 (from April to December) the following species prevailed in the catches in the Zmiinyi Island coastal zone: anchovy (36.7%), sea scorpion (16.2%), horse mackerel (12.7%), round goby (11.5%) and whiting (9.6%). The share of other species was insignificant and made 0.02 – 2.8% (Table 5).

Anchovy formed significant aggregations in the island area during winter migrations December (86.0% of total number caught

Table 2
Ranking of the Zmiinyi Island coastal waters ichthyofauna orders on the number of taxa

Ranking of orders (n = 18) on the number of taxa								
Order	Number of families		Order	Number of genera		Order	Number of species	
	n	%		n	%		n	%
Perciformes	16	39,0	Perciformes	24	43,6	Perciformes	31	45,6
Pleuronectiformes	4	9,8	Pleuronectiformes	4	7,3	Syngnathiformes	7	10,3
Clupeiformes	2	4,9	Clupeiformes	3	5,5	Pleuronectiformes	4	5,9
Cypriniformes	2	4,9	Cypriniformes	3	5,5	Clupeiformes	3	4,4
Gadiformes	2	4,9	Syngnathiformes	3	5,5	Cypriniformes	3	4,4
Rajiformes	2	4,9	Acipenseriformes	2	3,6	Acipenseriformes	3	4,4
Scorpaeniformes	2	4,9	Gadiformes	2	3,6	Gadiformes	2	2,9
Other 11 orders represented by one family each	11	26,8	Gobiesociformes	2	3,6	Gobiesociformes	2	2,9
			Rajiformes	2	3,6	Mugiliformes	2	2,9
			Scorpaeniformes	2	3,6	Rajiformes	2	2,9
			Other 8 orders represented by one family each	8	14,5	Scorpaeniformes	2	2,9
						Other 7 orders represented by one species each	7	10,3
Total	41	100,0	Total	55	100,0	Total	68	100,0

Table 3
Ranking of the Zmiinyi Island coastal waters ichthyofauna families on the number of taxa

Ranking of families (n = 41) on the number of taxa					Ranking of genera (n = 55) On the number of species			
Family	Number of genera		Family	Number of species		Genus	Number of species	
	n	%		n	%		n	%
Gobiidae	6	10.9	Gobiidae	9	13.2	Syngnathus	5	7.4
Blennidae	3	5.5	Syngnathidae	7	10.3	Neogobius	3	4.4
Syngnathidae	3	5.5	Blennidae	5	7.4	Parablennius	3	4.4
Acipenseridae	2	3.6	Acipenseridae	3	4.4	Symphodus	3	4.4
Clupeidae	2	3.6	Clupeidae	2	2.9	Acipenser	2	2.9
Cyprinidae	2	3.6	Cyprinidae	2	2.9	Gobius	2	2.9
Gobiesocidae	2	3.6	Gobiesocidae	2	2.9	Liza	2	2.9
Sciaenidae	2	3.6	Labridae	3	4.4	Other 48 genera represented by 1 species each	48	70.6
Other 33 families represented by 1 genus each	33	60.0	Mugilidae	2	2.9			
			Sciaenidae	2	2.9			
			Other 31 families represented by 1 species each	31	45.6			
Total	55	100.0	Total	68	100.0	Total	68	100.0

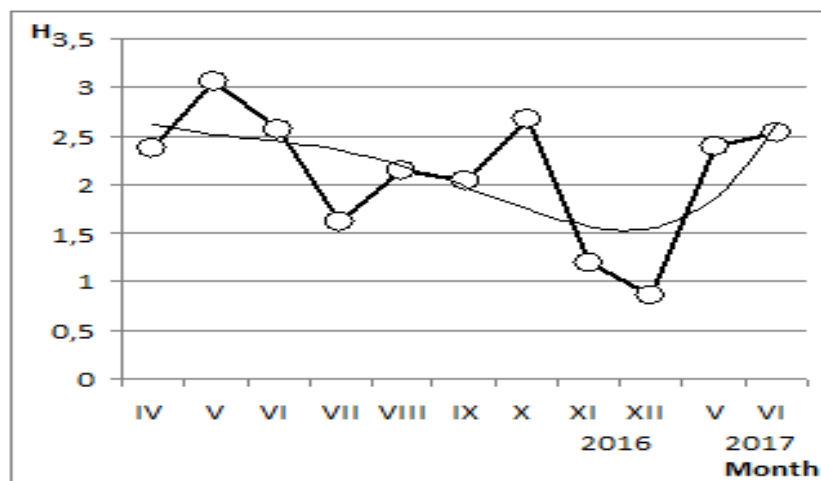


Fig. 2 – Shannon index H (ln) of species diversity (out of number) of the Zmiinyi Island coastal waters ichthyofauna in 2016-2017

Table 4

Ecological and zoogeographical characteristics of the Zmiinyi Island coastal waters ichthyofauna

Ecological and zoogeographic characteristics	No. of species	%	Ecological and zoogeographic characteristics	No. of species	%
Marine	52	76.5	Pelagophyls	24	35.3
Brackish-water	6	8.7	Protecting	23	33.8
Anadromous	5	7.4	Phytophyls	6	8.8
Freshwater	5	7.4	Lithophyls	4	5.9
Total	68	100.0	Psammophyls	1	1.5
Migratory	19	27.9	Lithopsammophyls	1	1.5
Sedentary	49	72.1	Ovoviviparous	2	2.9
Total	68	100.0	Carrying eggs	7	10.3
Bottom-dwelling	30	44.1	Total:	68	100.0
Near-bottom	24	35.3			
Pelagic	14	20.6			
Total	68	100.0			

during the period of fishing). The biggest number of sea scorpion individuals was caught in summer months and in September during its spawning. Maximal catches of horse mackerel and round goby took place in May during spawning migration of those species. Highest number of whiting (cryophilous species) was caught in December 2016.

Like in previous years, the most significant on biomass were catches of demersal species sea scorpion and round goby. Out of the group of pelagic species, anchovy and horse mackerel prevailed in catches. In 2017 (May-June), as well as in 2016, round goby (38.76%) and horse mackerel (37.15%) dominated in

catches in number. Catches of combtooth blenny were relatively high (7.63%). Share of other species was insignificant and made from 0.1 to 2.31% (Table 6).

Pelagic fish species. During the period of studies, 2 years' old individuals of anchovy and silverside were most often found in the catches near the island, 2-3 years' old horse mackerel, 1 year old bluefish. Average values of general length and weight, as well as intensity of feeding (total index of stomach fullness, TISF) for anchovy, silverside, bluefish and horse mackerel are presented in Table 6. Sex ratio (males:females) of these species in the catches was 1.2:1.0; 1.0:1.5; juv and 1.0:1.3

Table 5

**Relative number of representatives of the Zmiinyi Island coastal waters ichthyofauna
in the period from April to December 2016**

Specise	Month									Total Num ber, ind	Per- centa ge, %
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
<i>En. encrasicolus</i>	0,0	4,2	1,8	0,7	5,6	0,1	0,0	1,5	86,0	2197	36,7
<i>S. porcus</i>	1,0	5,7	13,6	20,8	32,6	23,6	0,0	1,8	0,9	971	16,2
<i>T. m. ponticus</i>	0,0	50,2	38,9	1,3	3,7	3,8	1,6	0,5	0,0	761	12,7
<i>N. melanostomus</i>	19	61,4	10,3	0,9	2,0	2,3	0,0	2,9	1,0	689	11,5
<i>M. m. euxinus</i>	9,4	6,6	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	8,5	75,3	575	9,6
<i>P. sanguinolentus</i>	18	71,9	3,6	1,2	0,6	3,0	0,0	1,8	0,0	167	2,8
<i>S. cinereus</i>	1,8	43,1	20,2	5,5	8,3	21,1	0,0	0,0	0,0	109	1,8
<i>U. scaber</i>	0,9	22,0	26,6	35,8	8,3	6,4	0,0	0,0	0,0	109	1,8
<i>M. b. ponticus</i>	0,9	92,6	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	108	1,8
<i>G. mediterraneus</i>	6,9	43,7	23,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,2	9,2	87	1,5
<i>M. batrachocephalus</i>	10	41,2	2,9	2,9	2,9	0,0	0,0	13,2	26,5	68	1,1
<i>A. pontica</i>	12	50,0	21,4	9,5	7,1	0,0	0,0	0,0	0,0	42	0,7
<i>P. saltatrix</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	24,1	31,0	41	3,4	0,0	29	0,5
<i>L. aurata</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	80,0	20,0	0,0	0,0	0,0	15	0,3
<i>P. flesus luscus</i>	0,0	61,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,1	15,4	13	0,2
<i>T. draco</i>	0,0	0,0	55,6	22,2	11,1	11,1	0,0	0,0	0,0	9	0,2
<i>P. maeotica</i>	0,0	50,0	0,0	0,0	0,0	25,0	0,0	25,0	0,0	8	0,1
<i>S. acanthias</i>	17	16,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,3	33,3	6	0,1
<i>A. immaculata</i>	60	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	0,0	20,0	0,0	5	0,1
<i>P. lascaris</i>	0,0	80,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	0,0	5	0,1
<i>S. flexuosa</i>	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5	0,1
<i>D. pastinaca</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0	0,0	3	0,1
<i>S. sprattus</i>	33	66,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3	0,1
<i>R. clavata</i>	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1	0,02
<i>S. labrax</i>	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1	0,02
<i>S. umbra</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0	1	0,02

respectively. Intensity of feeding of all the four species was rather high in the island area; the share of individuals with empty stomach did not exceed 25.0%. The highest values of TISF were registered during autumn feeding period (Table 7).

The diet of anchovy in the Zmiinyi Island coastal waters comprised organisms belonging to 15 taxa. The most significant for the diet appeared to be mysids, rotifers, zooplankton crustaceans Copepoda and planktobenthos

organisms: Polychaeta and amphipods. As we know, under conditions of zooplankton shortage anchovy feed on phytoplankton. During the period of studies near the Zmiinyi Island, the share of phytoplankton in food boluses of anchovy made 3.8 to 78.0% of its total mass. Most often phytoplankton organisms were registered in anchovy bowels in winter. Silver-side diet comprised 17 of food objects. In the diet dominated polychaetes, amphipods, mysids. Plankton crustaceans played significant

Table 6
Relative number of ichthyofauna representatives (%) in the Zmiinyi Island coastal waters in May-June period of 2016 and 2017

Species	Период исследований							
	2016				2017			
	V	VI	No. of ind.	%	V	VI	No. of ind.	%
<i>A. pontica</i>	70,0	30,0	30	1,48	0,0	100,0	1	0,10
<i>En. encrasicolus</i>	70,2	29,8	131	6,44	90,9	9,1	11	1,10
<i>G. mediterraneus</i>	65,5	34,5	58	2,85	78,3	21,7	23	2,31
<i>L. aurata</i>	0,0	0,0	0	0,00	0,0	100,0	1	0,10
<i>M. barbatus</i>	93,5	6,5	107	5,26	10,3	89,7	39	3,92
<i>M. batrachocephalus</i>	93,3	6,7	30	1,48	76,9	23,1	13	1,31
<i>M. merlangus euxinus</i>	97,4	2,6	39	1,92	0,0	0,0	0	0,00
<i>N. melanostomus</i>	85,6	14,4	494	24,30	78,2	21,8	386	38,76
<i>P. flesus luscus</i>	100,0	0,0	8	0,39	100,0	0,0	1	0,10
<i>P. lascaris</i>	100,0	0,0	4	0,20	0,0	0,0	0	0,00
<i>P. maeotica</i>	100,0	0,0	4	0,20	100,0	0,0	2	0,20
<i>P. sanguinolentus</i>	95,2	4,8	126	6,20	94,7	5,3	76	7,63
<i>R. clavata</i>	100,0	0,0	1	0,05	100,0	0,0	1	0,10
<i>S. acanthias</i>	100,0	0,0	1	0,05	0,0	0,0	0	0,00
<i>S. cinereus</i>	68,1	31,9	69	3,39	52,2	47,8	23	2,31
<i>S. flexuosa</i>	100,0	0,0	5	0,25	0,0	0,0	0	0,00
<i>S. labrax</i>	0,0	100,0	1	0,05	0,0	100,0	1	0,10
<i>S. porcus</i>	29,4	70,6	187	9,20	23,1	76,9	13	1,31
<i>S. sprattus</i>	100,0	0,0	2	0,10	100,0	0,0	1	0,10
<i>T. draco</i>	0,0	100,0	5	0,25	12,5	87,5	8	0,80
<i>T. mediteraneus</i>	56,3	43,7	678	33,35	0,0	100,0	370	37,15
<i>U. scaber</i>	45,3	54,7	53	2,61	15,4	84,6	26	2,61

Table 7
Size and mass characteristics, Total Index of Stomach Fullness (TISF) of four pelagic fish species in the Zmiinyi island coastal waters

Fish species (age)	Parameters	Period of studies			
		spring	осень	осень	spring
<i>E. encrasicolus</i> (2)	L, cm	11,6±0,1	10,9±0,3	11,6±0,3	10,5±0,1
	m, g	9,5±0,3	8,1±0,8	11,3±0,6	9,2±0,2
	TISF, ‰	59,2±11,7	67,6±37,2	30,7±7,4	10,6±5,1
<i>A. pontica</i> (2)	L, cm	7,6±0,2	8,8±0,3	-	-
	m, g	3,1±0,2	4,9±0,6	-	-
	TISF, ‰	101,3±22,4	126,5±47,8	-	-
<i>P. saltatrix</i> (1)	L, cm	-	19,7±0,4	18,7±0,3	-
	m, g	-	79,6±4,3	67,0±3,9	-
	TISF, ‰	-	104,2±15,2	216,9±22,4	-
<i>T. m. ponticus</i> (3)	L, cm	15,6±0,3	17,0±0,4	14,1±0,1	-
	m, g	37,0±2,4	47,5±4,1	25,7±0,9	-
	TISF, ‰	208,1±31,5	241,0±67,2	186,3±34,3	-

Notes: L – general length, m – mass of fish, n – number of individuals, TISF – total index of stomach fullness.

role in the diet of this species in the island coastal waters. According to the data received during summer period of 2009, in the diet of the studied silverside individuals prevailed copepods making up to 45.0% of food bolus mass.

The share of pelagic larvae of decapods, molluscs and polychaetes was insignificant. Comparative analysis of anchovy and silverside diet in the Zmiinyi Island coastal waters showed low similarity of food objects' species composition between these fish species (Index of Taxonomic Similarity ITS – 39.1%).

On the other hand, high values of the ITS Index (70.0 %) evidenced similar food preferences of the two fish species compared, which was expressed in intensive consumption of polychaetes by both species. The spectrum of bluefish diet in the island coastal waters was presented by 8 objects. Fishes dominated in food boluses: anchovy, horse mackerel, silverside, sprat and whiting. In the island coastal waters, remaining of *Palaemon elegans* was also found in the stomachs of bluefish. The study established that the diet of horse mackerel comprised organisms belonging to 16 taxa. Near the island, horse mackerel was feeding mainly on fish. Polychaetes and crustaceans

Amphipoda, Isopoda also played a significant role in the diet. In food boluses of big individuals the juveniles of the same species were found; the significance of juveniles in the diet of big fishes was quite high (Index of Relative Significance (IRS) – 295.9-492.1%). The values of Index of Food Similarity (70.4%) and the Index of Taxonomic Similarity (50.0%) of food objects in the diet of horse mackerel and bluefish were quite high, which showed similar diet of those two species.

The results received by us coincide with the data from literature, according to which anchovy and silverside were mainly zooplankton-eating species with wide food spectrum comprising meroplankton and planktobenthos organisms. Under the current conditions connected with growth in number and distribution of comb jelly *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz, 1865, which undermined the food basis of plankton-eating fish, significance of benthos organisms for zooplankton-eating fish diet will increase. The main role in the diet of horse mackerel and bluefish is played by different fish species, both in the Zmiinyi Island area and in other parts of the Black Sea. Near the island, horse mackerel also consumes actively amphipods and polychaetes.

Table 8
Size and mass characteristics of three bottom-dwelling fish species in the Zmiinyi Island coastal waters for the entire period of studies

Species	Sex	Parameters	Age, years				
			1 (1+)	2 (2+)	3 (3+)	4 (4+)	5 (5+)
<i>G. mediterraneus</i>	Males	Gen. length, cm	18,0±0,3	22,4±0,2	24,9±0,3	26,9±0,6	-
		Mass, g	51,7±3,2	102,3±3,2	135,8±7,5	167,0±10,4	-
		Number of fish, ind	48	111	25	7	-
	Females	Gen. length, cm	18,5±0,3	22,8±0,1	24,9±0,2	28,2±0,4	28,6±0,9
		Mass, g	60,0±3,2	112,3±1,5	137,1±2,7	208,4±12,0	209,8±9,3
		Number of fish, ind	65	374	179	33	4
<i>S. porcus</i>	Males	Gen. length, cm	9,9±0,2	12,7±0,4	14,1±0,1	16,3±0,2	17,5±0,5
		Mass, g	26,3±1,6	48,9±0,9	64,8±1,1	92,1±2,7	109,6±3,5
		Number of fish, ind	45	126	125	42	14
	Females	Gen. length, cm	10,4±0,2	12,8±0,2	14,5±0,2	16,9±0,4	19,5±0,4
		Mass, g	27,9±1,3	52,5±2,2	76,7±3,9	113,3±2,5	174,5±1,6
		Number of fish, ind	45	43	41	22	12
<i>N. melanostomus</i>	Males	Gen. length, cm	-	14,5±0,4	17,0±0,5	18,2±0,3	-
		Mass, g	-	54,5±1,2	82,1±2,7	98,9±3,5	-
		Number of fish, ind	-	30	35	30	-
	Females	Gen. length, cm	-	12,0±0,3	15,1±0,4	16,3±0,5	-
		Mass, g	-	35,9±2,4	65,4±2,8	74,5±2,8	-
		Number of fish, ind	-	25	30	30	-

Bottom-dwelling fish species. Silver rockling *Gaidropsarus mediterraneus* (L., 1758). The basis of silver rockling catch was formed by individuals of general body length of 23-24 cm. Maximal value of general length for males (age 4+) was 34.2 cm, mass – 210.0 g; for females (age 4+) – 33.0 cm and 367.0 g respectively (Table 8).

Analysis of Index of Relative Significance (IRS) of silver rockling food objects showed that its main food comprised crustaceans – representatives of Gammaridae (Table 9). The lowest intensity of silver rockling feeding was registered in summer period; its General Index of Stomach Fullness (GISF) was 177 to 280^{0/000}. In winter this parameter was reaching 326-414^{0/000}, in spring varied from 287 to 350^{0/000}. The changes in this parameter's values reflect activeness of food consumption by fish in different seasons. In November – December and April – May silver rockling individuals consumed more food to restore energy spent for breeding and wintering. Silver rockling diet comprised organisms belonging to 35 taxa. Crustaceans were represented by the highest number of species – 16.

Polychaeta *Nereis diversicolor* and 5 mollusc species were also found; among those musels *Mytilus galloprovincialis*, dominant species in the benthos of the area, prevailed. Out of vertebrates, 12 fish species were found, most of them bottom-dwelling (80.3%).

Not less important food objects for silver rockling were shrimps and crabs, as well as fishes Blenniidae, Gobiidae and Gadidae. Secondary food objects were other crustaceans (isopodes and crabs) and fishes (sprat, clingfish). Mussel was accidental food. Cases of cannibalism happen with silver rockling. We registered mass cases of cannibalism in this species in 2004, which probably was connected with increase in its number and, as the result, growth of tension inside the species.

Sea scorpion *Scorpaena porcus* L., 1758. Sea scorpion parameters varied within the following limits: minimal general length of males and females in the age of 1 – 6.9 and 5.7 cm, mass – 9.0 and 9.2 g respectively. Maximal values in the age of 5 – 20.5 and 23.7 cm, 160.3 g and 339.5 g respectively (Table 7). Intensity of sea scorpion feeding during spawning period (end of May – mid-July) was low, General Index of Stomach Fullness (GISF) made 103–149^{0/000}. More than half of

individuals did not feed during those months. In August, when reproduction period ended, increase of feeding activeness was observed (GISF – 283-349^{0/000}). The highest feeding intensity (537^{0/000}) was registered in September – early October. In the period of studies food spectrum of sea scorpion in the Zmiinyi Island area comprised food objects that belonged to 25 taxa. Decapodes were represented in the diet by highest number of species (7 species). Secondary role was played by mass fish species – representatives of Blenniidae and Gobiidae families (3 and 4 species respectively). Nereis and mussels were found in insignificant quantity (Table 8).

Combtooth blenny *Parablennius sanguinolentus* (Pallas, 1814). Mean value of general length of the individuals caught near the Zmiinyi Island was 14.6±1.9 cm, mass – 54.2±2.2 g, the biggest length and mass – 17.5 cm and 93.0 g respectively. In the diet of the studied combtooth blenny individuals 21 macrophyte species were found (Chlorophyta – 12, Rhodophyta – 8 и Phaeophyta – 1), which made ca. 50.0 % of all microalgae species known for the island coastal waters. On the frequency of occurrence in food boluses of combtooth blenny the most mass were: *Cladophora hutchinsii* (50.0%), *Ceramium siliquosum var elegans* (30.0%), *Cladophora laetevirens*, *Ulothrix implexa*, *Callithamnion corymbosum* (20.0%). The rest of algal species were found in individual cases. Besides, diatoms of 35 species were found in food boluses of combtooth blenny (ca. 30.0% of all the diatoms known for the island area), as well as crustaceans (*Gammarus gen. sp.*) and molluscs (juveniles of *Mytilus galloprovincialis*).

Round goby *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814). Individuals with general length of 12.0-18.2 cm dominated in catches. At that, mass of fish did not exceed 99.0 g (Table 7). Males in the age 4+ reached maximal size. Their biggest length and mass were 19.1 cm and 106.7 g (Table 7). General Index of Stomach Fullness (GISF) of individuals varied from 120.0 to 597^{0/000}. In spring the GISF values were within 180-323^{0/000}. Quantity of fish with empty stomachs made 45%. The maximal values of GISF were registered in autumn – 597^{0/000}; percentage of individuals with empty stomach was 20%. The spectrum of round goby diet in the Zmiinyi Island coastal waters was represented by food objects belonging to).

Table 9
Mean IRS values (%) of food objects of silver rockling, sea scorpion and round goby in the Zmiinyi Island coastal waters

Food object	<i>G. mediterraneus</i>	<i>S. porcus</i>	<i>N. melanostomus</i>
<i>Nematoda gen. sp.</i>	-	-	1,8
<i>Oligochaeta gen. sp.</i>	-	-	1,7
<i>Nereis diversicolor</i>	399,1	209,6	76,7
<i>Balanus gen. sp.</i>	16,8	-	71,7
<i>Stenothoe monoculoides</i>	86,3	-	-
<i>Corophium gen. sp.</i>	88,5	-	-
<i>Gammarus gen. sp.</i>	2883,0	535,8	54,2
<i>Sphaeroma gen. sp.</i>	194,7	50,4	1,7
<i>Idotea baltica basteri</i>	17,9	11,4	-
<i>Palaemon elegans</i>	624,1	1985,1	1,3
<i>Crangon crangon</i>	233,0	4617,0	-
<i>Pisidia longimana</i>	44,9	-	-
<i>Macropipus arcuatus</i>	64,9	97,0	16,4
<i>Carcinus mediterraneus</i>	8,2	-	-
<i>Eriphia verrucosa</i>	179,5	-	-
<i>Xantho poressa</i>	547,1	815,8	65,8
<i>Pilumnus hirtellus</i>	87,7	262,7	-
<i>Pachygrapsus marmoratus</i>	86,4	46,0	-
<i>Reptantia gen. sp.</i>	117,4	162,4	30,5
<i>Rissoa gen. sp.</i>	-	-	679,6
<i>Hydrobia gen. sp.</i>	80,4	-	27,1
<i>Nana donovani</i>	1,2	-	-
<i>Modiolus adriaticus</i>	-	-	6,2
<i>Mytilaster lineatus</i>	0,2	-	255,7
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	50,5	4,2	14976,8
<i>Cerastoderma gen. sp.</i>	-	-	20,5
<i>Mollusca gen. sp.</i>	104,3	-	4,7
<i>Sprattus sprattus phalericus</i>	355,7	-	93,1
<i>Engraulis encrasicolus</i>	9,2	-	-
<i>Gaidropsarus mediterraneus</i>	222,1	55,9	-
<i>Ophidion rochei</i>	-	1,8	-
<i>Hippocampus guttulatus</i>	-	106,2	-
<i>Aidablennius sphyinx</i>	78,8	95,8	-
<i>Parablennius sanguinolentus</i>	11,9	-	-
<i>Parablennius zvonimiri</i>	-	2,8	-
<i>Parablennius tentacularis</i>	282,0	17,6	-
<i>Blenniidae gen. sp.</i>	64,4	25,6	19,6
<i>Mesogobius batrachocephalus</i>	-	27,7	-
<i>Neogobius melanostomus</i>	172,2	235,7	-
<i>Gobius niger</i>	140,0	76,3	-
<i>Gobiidae gen. sp.</i>	154,9	1037,6	-
<i>Proterorhinus marmoratus</i>	-	24,3	-
<i>Lepadogaster candollei</i>	24,7	-	-
<i>Pisces gen. sp.</i>	88,0	435,3	11,3
Икра рыб	+	-	+
Всього ПИЩЕВЫХ КОМКОВ, шт.	420	186	120

Note: + – presence of a food object in the diet; - – absence of a food object from the diet.

Table 10

Protected fish species in the Zmiinyi Island coastal waters

Species	Protection status	SA (Boltachev, 2006)	OB (Zamorov, 2010)	ZMN (2003-2017)
<i>Acipenser gueldenstaedtii</i> Brandt et Ratzeburg, 1833	1R; 2R; 3R	+	+	+
<i>Acipenser stellatus</i> Pallas, 1771	1R; 2R; 3R	+	+	+
<i>Aidablennius sphynx</i> (Valenciennes, 1836)	2R	+	-	+
<i>Arnoglossus kessleri</i> Schmidt, 1915	3R	+	-	+
<i>Belone belone euxini</i> Gunther, 1866	3R	+	+	+
<i>Callionymus risso</i> Lesueur, 1814	3R	+	-	+
<i>Chromis chromis</i> (L., 1758)	3R	+	-	+
<i>Diplecogaster bimaculata</i> (Bonnaterre, 1788)	3R	+	-	+
<i>Diplodus annularis</i> (L., 1758)	2R	+	-	+
<i>Gobius paganellus</i> L., 1758	3R	+	-	+
<i>Hippocampus hippocampus</i> (L., 1758)	2R; 3R	+	+	+
<i>Huso huso</i> (L., 1758)	1R; 3R	+	+	+
<i>Lepadogaster candollii</i> Risso, 1810	3R	+	-	+
<i>Mesogobius batrachocephalus</i> (Pallas, 1814)	2R	+	+	+
<i>Mullus barbatus ponticus</i> Essipov, 1927	2R	+	+	+
<i>Neogobius ratan</i> (Nordmann, 1840)	2R	-	+	+
<i>Nerophis ophidion</i> (L., 1758)	2R	+	+	+
<i>Pegusa lascaris</i> (Risso, 1810)	2R	+	+	+
<i>Proterorhinus marmoratus</i> (Pallas, 1814)	2R	+	+	+
<i>Raja clavata</i> L., 1758	1R	+	-	+
<i>Salaria pavo</i> (Risso, 1810)	2R	+	-	+
<i>Salmo labrax</i> Pallas, 1814	1R; 3R	+	+	+
<i>Sarda sarda</i> (Bloch, 1793)	2R	+	-	+
<i>Sciaena umbra</i> L., 1758	3R	+	+	+
<i>Scorpaena porcus</i> L., 1758	2R	+	+	+
<i>Squalus acanthias</i> L., 1758	1R	+	+	+
<i>Symphodus ocellatus</i> (Forsskål, 1775)	2R	+	-	+
<i>S. tinca</i> (L., 1758)	2R	+	-	+
<i>Syngnathus abaster</i> Risso, 1827	1R	+	+	+
<i>Syngnathus tenuirostris</i> Rathke, 1837	2R; 3R	-	-	+
<i>Syngnathus typhle</i> L., 1758	2R	+	+	+
<i>Syngnathus variegatus</i> Pallas, 1814	3R	+	-	+
<i>Trachinus draco</i> L., 1758	2R	+	+	+
<i>Chelidonichthys lucernus</i> L., 1758	2R; 3R	+	+	+
<i>Umbrina cirrosa</i> (L., 1758)	3R	+	-	+
<i>Uranoscopus scaber</i> L., 1758	2R	+	+	+

Notes: SA – Sevastopol Area, OB – Odessa Bay, ZMN – Zmiinyi Island coastal waters, 1R – IUCN Red List; 2R – Black Sea Red Data Book; 3R – Red Book of Ukraine; - - species not found.

Table 11
Ecological and zoo-geographical characteristics of ichthyofauna in the Black Sea areas

Ecological and zoo-geographical characteristics	Sevastopol area (Boltachev, 2006)		Odessa bay (Zamorov et al., 2016)		Zmiinyi Island coastal waters (2003-2017)	
	No. of species	%	No. of species	%	No. of species	%
Bottom-dwelling	44	40,7	23	44,2	30	44,1
Near-bottom	33	30,6	14	26,9	24	35,3
Pelagic	31	28,7	15	28,8	14	20,6
Total	108	100,0	52	100,0	68	100,0
Pelagophyls	44	40,7	23	44,2	24	35,3
Protecting	41	38,0	15	28,8	23	33,8
Phytophyls	7	6,5	4	7,7	6	8,8
Lithophyls	4	3,7	4	7,7	4	5,9
Psammophyls	1	0,9	0	0,0	1	1,5
Lithopsammophyls	1	0,9	0	0,0	1	1,5
Ovoviviparous	3	2,8	2	3,8	2	2,9
Carrying eggs	7	6,5	4	7,7	7	10,3
Total	108	100,0	52	100,0	68	100,0
Marine species	92	85,2	36	69,2	52	76,5
Brackish-water	6	5,6	8	15,4	6	8,8
Anadromous	6	5,6	6	11,5	5	7,4
Freshwater	4	3,7	2	3,8	5	7,4
Total	108	100,0	52	100,0	68	100,0
Migratory	34	31,5	19	36,5	19	27,9
Sedentary	74	68,5	33	63,5	49	72,1
Total	108	100,0	52	100,0	68	100,0

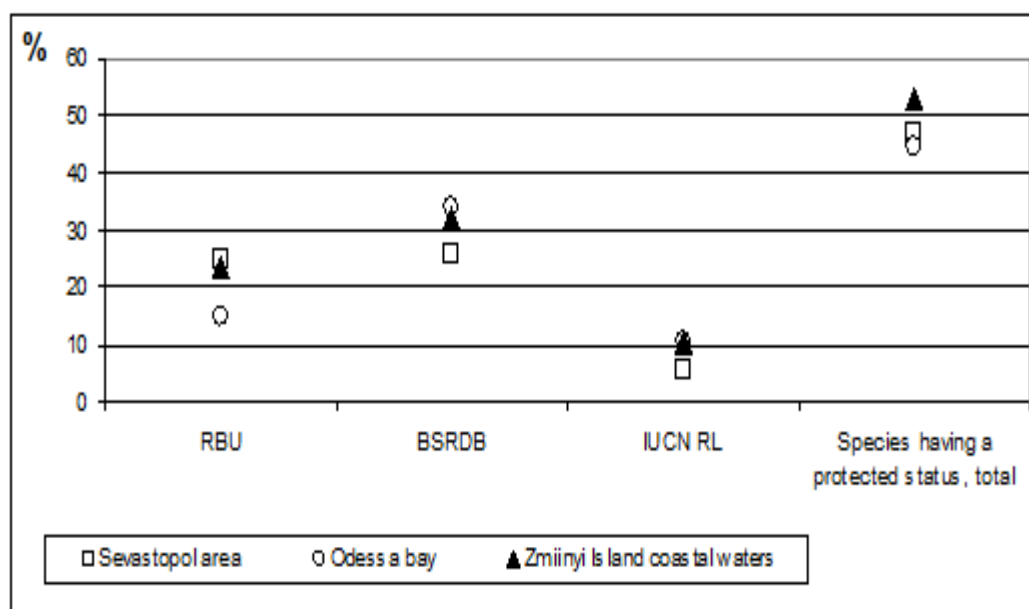


Fig. 3 – Share of protected species in the species composition of ichthyofauna of different Black Sea areas (RBU – Red Book of Ukraine, BSRDB – Black Sea Red Data Book, IUCN RL – IUCN Red List)

22 taxa (Table 8). Molluscs and crustaceans were represented by highest number of species in round goby diet (8 and 7 species respectively).

During the period of studies selectivity of silver rockling diet reflected in preference of small crustaceans belonging to families Gammaridae and Sphaeromatidae; the values of Selectivity Index (SI) of those species made up to 21.8 and 18.0%, respectively. Besides, silver rockling consumes actively the most mass fish species, for example, electivity for blennies was 15.6%. Maximal values of Selectivity Index of sea scorpion are for shrimp (up to 24.7%), Xantho (up to 18.2%) and Pilumnus (up to 14.2%), as well as polychaetes (23.1%), Sphaeroma (16.8%) and Idothea (11.4%). Food activeness of round goby is first of all aimed at consumption of Mitylus and Mytilaster. Selectivity indices in respect of those molluscs were maximal during the entire period of study and made 16.1 and 22.0%. Comparative analysis of bottom-dwelling fish diet in the Zmiinyi Island coastal area showed that the studied species had both similar and specific features in food preference. The highest values of Index of Food Similarity (IFS) and Index of Taxonomic Similarity (ITS) were obtained from comparison between the diets of silver rockling and sea scorpion (IFS – 19.6-59.4%, ITS – 21.1-50.0%). Variations of those values appeared to be quite significant and evidently are direct consequence of changes in number of both the studied fish species and benthos organisms.

Protected and rare species. Out of 68 fish species found near the island, 16 species were entered into the Red Book of Ukraine [38], 22 – into the Black Sea Red Data Book [31], 7 species – into the IUCN Red Data List [39]. In other words, 36 species, which means more than half of all the species found near the island (52.9% of all species) have a protection status (Table 10). Most of them, first of all sturgeons, are rare species for the Black sea

and now can be found only episodically. Other species: *Belone belone euxini*, *Hippocampus hippocampus*, *Lepadogaster candollii*, *Mesogobius batrachocephalus*, *Mullus barbatus ponticus*, *Uranoscopus scaber* are common in the island coastal waters; *Scorpaena porcus* periodically forms mass aggregations.

Comparative analysis of fish communities structural characteristics in the areas of Sevastopol, Odessa bay and the Zmiinyi Island shows relatively similar features, which can be explained by similar conditions in the compared areas (Table 11).

Composition of ichthyofauna in Odessa bay and the Zmiinyi Island coastal waters is very similar (Index of Taxonomic Similarity, ITS – 0.7). Some difference in number of species found in two those areas are partly explained by the fact that near the island more diverse fishing gear was used (gillnets, traps, fry nets, dip-nets, hook and line gear, mid-water trawl), while in Odessa Bay only stake nets ad hook and line gear were used. Peci-formes order was represented by biggest number of taxa in both areas. Most of fishes found in catches belonged to marine species – bottom-dwelling or near bottom. Anadromous and brackish-water species were represented in Odessa bay to the fullest extent possible. In the island coastal waters less representatives of those groups were found due to hydrological features of the two compared areas – the island coastal areas are more influenced by marine water masses. It should be pointed out that the shares of rare and protected fish species in Odessa bay and in the island area were practically similar during the period of study (Fig. 3). So, despite insignificant difference in number of species found and prevalence n number of some ichthyofauna representatives, fish communities of the areas compared have substantial similarity.

Conclusions

Summing up, we have to point out the following. The Zmiinyi Island is a unique natural complex, the only rock formation of the north-western Black Sea shelf. Diversity of hydrology and hydrochemistry, substrates (from loose to hard), relatively big depth in that part of the sea (30 m and more) and a number of other features have caused forming

of specific biocoenoses characterized by high diversity of species, biomass and productivity. Organisms of water fauna, first of all fish, in the island coastal waters have diverse ecological, biological and zoo-geographic characteristics. Influenced by both natural and anthropogenic factors, the structural and functional features of the Black Sea ecosystem are chang-

ing on large shelf areas including the Zmiinyi Island area. However, the results of our studies have shown that the island coastal waters are the most environmentally healthy districts of the north-western Black Sea containing reserve genetic fund due to which restoration of ichthyofauna takes place in the areas that have suffered full or partial suffocation of fish and other organisms.

Altogether 68 fish species were found near the Zmiinyi Island in 2016-2017, which made 30.9% of all the fishes registered in the Black Sea. The fishes caught near the island belonged to 5 ecological groups. The basis of ichthyofauna in the area was formed by marine fish – 52 species (76.5 % of the total number of species). Most of species (54 species or 89.4%) were bottom-dwelling or near bottom. On the mode of reproduction, pelagophylic and protecting species prevailed (24 species or 35.3% and 23 species or 33.8% respectively). On the type of feeding, predatory and benthos-eating species took the lead.

All the species registered belonged to 18 orders, 41 families and 55 genera. The biggest number of taxa belonged to Perciformes order, the representatives of which made one-half of all the species found near the island. The level of ichthyofauna species diversity (Shannon index values calculated coming out of number) in 2016 varied from 0.86 to 3.06 making in the average 2.06; in 2017 – from 2.40 to 2.54 making in the average 2.47. Minimal values of biodiversity indicators were registered in the end of autumn and in winter, maximal – in May-June.

Out of 68 species found in the island area, 36 species (52% of all the species) have a protected status: 16 species are included into the Red Book of Ukraine, 22 species – into the

Black Sea Red Data Book, 7 species – into the IUCN Red List.

As the development of fish populations' dynamics theory is one of the most urgent tasks of modern ichthyology, experimental determination of such characteristics as fish number and species distribution is of first-rate importance. Standard stock assessment methods based on calculation of number using computed coefficients of mortality, capture level or the respective coefficients of fishing gear performance and capture level, according to our data, do not work in the areas inaccessible for commercial fishing. Therefore, the results of such calculations will be incorrect. Hence, it becomes evident that there is a need to develop new economically efficient methods of monitoring and assessment of number and stock of bottom-dwelling and near bottom fish and other hydrobionts in the hard-to-reach areas where standard methods cannot be used. We believe that one of the most advanced way to study the condition of fish stock and fish biological diversity is application of non-contact automatic video-monitoring methods and development of computer processing algorithms for the video materials received. This will help to increase significantly economic feasibility and accuracy of data.

Ichthyological observations in the Zmiinyi Island coastal waters in 2016-2017 were performed in the framework of Odessa National I.I. Mechnikov University's research projects with financial support from the EM-BLAS-II International Project. In the work we used the materials collected in 2003-2015 during the research activities carried out with financial support of the Ministry of Education and Science of Ukraine and the EnviroGRIDS and PERSEUS International Projects.

Conflict of interests

The authors declare that 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. Smyntyna, V.A., Medinets, V.I. & Suchkov, I. O. (2008). Zmiinyi Island: Ecosystem of coastal waters: monohrafiya. Odesa National I.I. Mechnykov University: Astroprint. Retrieved from <http://dspace.onu.edu.ua:8080/handle/123456789/2776> (In Ukrainian).
2. Snigirov, S.M. (2011). Bottom ichthyofauna of the Zmiinyi Island coastal waters. (Master's thesis). Kyiv:

- Institute of Hydrobiology NAS of Ukraine. (In Russian).
3. Snigirov, S.M. (2011). Nutrition and trophic relationships of three common species of bottom fish in the Zmiinyi Island coastal water area in 2003-2007. *Hydrobiological journal*, 47(4), 52-65. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v47.i6.60> (In Russian).
 4. Snigirov, S.M. Abakumov, A.N., Pitsyk, V.Z. & Gazyetov, Ye.I. (2010). The first find of fish species *Chromis chromis* (Linnaeus, 1758) and *Sarda sarda* (Bloch, 1793) in the Zmiinyi Island water area. Proceedings of the International scientific and practical conference: "Environmental problems of the Black Sea" (Odessa, 2010, October 28 - 29, (pp.400-402). Odessa: INVATS. (In Russian).
 5. Snigirov, S.M., Medinets, V.I., Abakumov, O.M. (2010). Diversity of ichthyofauna in the coastal waters of the Zmiinyi Island in 2004 – 2009. *Transactions of Ternopil National Volodymyr Hnatyuk Pedagogical University. Series: Biology. Special issue "Hydroecology"*, (3-44), 250 - 252. (In Ukrainian).
 6. Snigirov, S., Goncharov, O. & Sylantsev, S. (2012). The fish community in Zmiinyi Island waters: structure and determinants. *Marine Biodiversity*, 42 (2), 225-239. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12526-012-0109-4>
 7. Snigirov, S. (2013). Bluefish *Pomatomus saltatrix* (L., 1766) horse mackerel *Trachurus mediterraneus ponticus* Aleev, 1956 diet in the Zmiinyi Island coastal waters. *Proceedings of the IVth Bi-annual Black Sea Scientific Conference*, (Constanta, 2013, 28-31 October (pp.106-107). Romania, Constanta.
 8. Snigirev, S.M. & Medinets V.I. (2010). Results of investigations of marine fish and benthos communities in western part of the Black sea (near Zmeiny island). *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 11(3), 1037–1045. Retrieved from <https://docs.google.com/a/jepe-journal.info/viewer?a=v&pid=sites&srcid=amVwZS1qb3VybmFsLmluZm98amVwZS1qb3VybmFsGd4OjRIO Dk1NjgwNTcwNTk5ZWE>
 9. Snigirov, S., Medinets, V., Chichkin, V., Sylantsev, S. (2013). Rapa whelk controls demersal community structure off Zmiinyi Island, Black Sea. *Aquatic Invasions*, 8 (3), 289-297. http://www.aquaticinvasions.net/2013/AI_2013_3_Snigirov_etal.pdf; DOI: <http://dx.doi.org/10.3391/ai.2013.8.3.05>
 10. Romanenko, V.D. (Ed.). 2006. Methods of hydroecological research of surface waters. Kyiv: LOGOS. (In Ukrainian).
 11. Pryakhin, Yu.V., Shkitskiy, V.A. (2008). Methods of research in fishery. Rostov-on-Don: Publisher of YuNTs RAN. 256 p. (In Russian).
 12. Getman, T. P. (2007). Visual underwater observations for assessment of the qualitative and quantitative indicators of ichthyocenose. *Ecology of the sea*, (74), 13-17. Retrieved from <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25457272> (In Russian).
 13. Mochev, A.D. (1978). Ecological organization of coastal marine fish communities. Kyiv: Naukova dumka. (In Ukrainian).
 14. Halford, A., Thompson, A.A. (1994). Visual census surveys of reef fish. – Townsville: Australian institute of marine science.
 15. Berg, L.S. (1948-1949). Freshwater fishes of the USSR and neighbouring countries. Moskow-Leningrad: Publisher of the USSR. Retrieved from <https://www.twirpx.com/file/285814/> (In Russian).
 16. Vasilyeva, Ye.D. (2007). Fish of the Black Sea. Keys to marine, brackish, euryhaline and anadromous species with colour illustrations collected by S.V. Bogorodsky. Publisher VNIRO. Retrieved from <http://dspace.vniro.ru/handle/123456789/2166> (In Russian).
 17. Zambriborshch, F.S. (1968). On the taxonomy of gobies of the Black and Azov Seas (short guide). *Bulletin of Zoology*, 10(1), 37-44. Retrieved from http://mail.izan.kiev.ua/vz-pdf/1968/1/68_1_05.pdf (In Russian).
 18. Svetovidov, A.N. (1964). Fish of the Black Sea. Moskow-Leningrad: Nauka. https://doi.org/10.21072/Black_Sea_Fish (In Russian).
 19. Pavlov, P.Y. (1980). Fish. Larval chordates (ascidians, appendiculars, cranial, cephalopods, roundworms, cartilaginous fish, bony fish - sturgeon, herring, anchovy, salmon, grayling, pike, umbrella. In *Fauna of Ukraine*, 8 (1). Kyiv: Nauk. Dumka. Retrieved from <http://www.izan.kiev.ua/fau-ukr.htm> (In Ukrainian).
 20. Movchan Yu.V. & Smyrnov A.I. (1981). Pisces. Carp. Part 1. Gossip, fir, goliath, red perch, grass carp, linen, top, tench, Amur chub, podust, pichkur, madder. In *Fauna Ukrayiny*, 8(2, part 1). Kyiv: Nauk. dumka. Retrieved from <http://www.izan.kiev.ua/fau-ukr.htm> (In Ukrainian).
 21. Movchan Yu.V., Smyrnov A.I. (1983). Fish. Loach, catfish, ictaluric, freshwater eels, conger, sargan, cod, stickleback, needle, gambusia, zeus, spiren, mullet, atherine, erroneous. In *Fauna of Ukraine*, 8(2-Part 2)] Kyiv: Nauk. Dumka. Retrieved from <http://www.izan.kiev.ua/fau-ukr.htm> (In Ukrainian).
 22. Movchan Yu.V., Smyrnov A.I. (1988). Fish. Loach, catfish, ictaluric, freshwater eels, conger, sargan, cod, stickleback, needle, gambusia, zeus, spiren, mullet, atherine, erroneous. In *Fauna of Ukraine*, 8(3). Kyiv: Nauk. Dumka. Retrieved from <http://www.izan.kiev.ua/fau-ukr.htm> (In Ukrainian).
 23. Shcherbukha, A.Ya. (1982). Perch-shaped (perch-shaped, lip-shaped, dragon-shaped, dog-shaped, sandy-

- shaped, lyre-shaped, mackerel-shaped. In *Fauna of Ukraine*, 8(4). Kyiv: Nauk. Dumka. Retrieved from <http://www.izan.kiev.ua/fau-ukr.htm> (In Ukrainian).
24. Smirnov A.I. (1986). Perch-like (goby-like), scorpion-like, flounder-like, sucker-like, angler-like. In *Fauna of Ukraine*, 8(5). Kyiv: Nauk. Dumka. Retrieved from <http://www.izan.kiev.ua/fau-ukr.htm> (In Ukrainian).
25. Jennings G. (Ed.). (1996). *European sea fishes Gibraltar to Norway.*, London: Calypso Publications.
26. Froese, R., Pauly, D. (Eds). (2007). FishBase. World Wide Web electronic publication. (version (08/2007) Retrieved from <http://www.fishbase.org/summary/speciessummary.php?id=108>
27. IUCN Red List of threatened animals. (1996). Intern. Union of Conservation of Nature and Natural Resources. USA. Printed by Kervin press.
28. Kottelat, M. & Freyhof, J. (2007). *Handbook of European freshwater fishes.* Kottelat, Cornol, Switzerland and Freyhof, Berlin, Germany.
29. Miller, J. & Loates, M.J. (1997). *Fish of Britain and Europe.* Harper Collins Publishers, London.
30. Nelson, J.S. (2006). *Fishes of the world* (4th ed.). New York: J. Willey & Sons, Inc.
31. Yankova, M., Raykov, V., Ivanova, P., Mgeladze, M., Diasamidze, R., Radu, G. & Nicolaev, S., (2010). Black Sea Fish Check List. M. Yankova (Comp). – Black Sea Commission Publication. Retrieved from <http://www.blacksea-commission.org/publ-BSFishList.asp>
32. Pravdin, I.F. (1966) *Guide to studies of fish (mainly freshwater).* Moskow: Pischevaya Promyshlennost. (In Russian).
33. Margalef, R. (1958). Information theory in ecology. *General Systems*, 3, 36-71.
34. Shannon, C.E. & Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication.* Urbana: University of Illinois Press.
35. Pielou, E.C. (1966). The measurements of diversity in different types of biological collections. *J. Theoret. Biol.*, 13, 131-144. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(66\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0022-5193(66)90013-0)
36. Gazyetov, Ye.I., Medinets, V.I., Snigirov, S.M., Snigirov, P.M., Abakumov, A.N. & Pitsyk, V.Z. (2019). Studies of seawater hydrological characteristics near the Zmiinyi Island in 2016-2017. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University Series "Ecology"*, (20), 42-55. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2019-20-04> (In Russian).
37. Snigirov, S.M., Chernyavskiy, A.V., Naum, Ye.A., Galkina, A.A., Medinets, V.I., Gazyetov, Ye.I., Konareva, O.P. & Snigirov, P.M. (2019). The state of macrozoobenthos in coastal zone of Serpents' Island in 2016-2017. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University Series "Ecology"*, (21), 81-98. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2019-21-07> (In Russian).
38. Akimov, I.A. (Ed.). (2009). *Red Book of Ukraine. Fauna.* Kyiv: Globalkonsalting. (In Ukrainian). <https://redbook-ua.org/>; <https://redbook.land.kiev.ua/2.html>
39. Dumont, H.J. (Ed.). (1999). *Black Sea Red Data Book.* New York: United Nations Office for Project Services.

Литература

1. Сминтина В. А., Медінець В. І., Сучков І. О. Острів Зміїний: екосистема прибережних вод: монографія. Відп. ред. В. І. Медінець. Одес. Нац. ун-т ім. І.І. Мечникова. Одеса: Астропринт, 2008. XII. 228 с. URL: <http://dspace.onu.edu.ua:8080/handle/123456789/2776>
2. Снігірьєв С. М. Донная ихтиофауна прибрежных вод острова Змеиный: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.10. Киев, 2011. 20 с.
3. Снігірьєв С. М. Питание и трофические связи трех массовых видов донных рыб в прибрежной акватории о. Змеиный в 2003-2007 гг. *Гидробиологический журнал*. 2011. Т. 47, №. 4. С. 52-65. URL: <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v47.i6.60>
4. Снігірьєв С. М., Абакумов А. Н., Пищук В. З., Газетов Е. И. Первая находка рыбы-ласточка *Chromis chromis* (Linnaeus, 1758) и пеламиды *Sarda sarda* (Bloch, 1793) в акватории о. Змеиный. *Екологічні проблеми Чорного моря: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. м. Одеса, 28 - 29 жовт. 2010 р.* Одеса, 2010. С. 400-402.
5. Снігірьєв С. М., Медінець В. І., Абакумов О. М. Різноманітність іхтіофауни прибережних вод острова Зміїний у 2004 – 2009 рр. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія. Спеціальний випуск „Гідроекологія”.* 2010. № 3 (44). С. 250 – 252.
6. Snigirov S., Goncharov O., Sylantyev S. The fish community in Zmiinyi Island waters: structure and determinants. *Marine Biodiversity*. 2012. Vol. 42, № 2. P. 225-239. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12526-012-0109-4>
7. Snigirov S. Bluefish *Pomatomus saltatrix* (L., 1766) horse mackerel *Trachurus mediterraneus ponticus* Ale-

- ev, 1956 diet in the Zmiinyi Island coastal waters: Abstract Book of the 4-th Biannual Black Sea Scientific Conference, (28-31 October, 2013, Constanta, Romania). Constanta, 2013. P. 106-107.
8. Snigirev S. M., Medinets V. I. Results of investigations of marine fish and benthos communities in western part of the Black sea (near Zmeiny island). *Journal of Environmental Protection and Ecology*. 2010. Vol. 11. No 3. P. 1037–1045. URL: <https://docs.google.com/a/jepe-our-nal.info/viewer?a=v&pid=sites&srcid=amVwZS1qb3VybmFsLmluZm98amVwZS1qb3VybmFsGd4OjRIODk1NjgwNTcwNTk5ZWE>
 9. Snigirov S., Medinets V., Chichkin V., Sylantyev S. Rapa whelk controls demersal community structure off Zmiinyi Island, Black Sea. *Aquatic Invasions*. 2013. Vol. 8. No 3. P. 289-297. DOI: <http://dx.doi.org/10.3391/ai.2013.8.3.05>
 10. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод. / Під ред. В. Д. Романенко. К.: ЛОГОС, 2006. С.156-180.
 11. Пряхин Ю. В., Шкицкий В. А. Методы рыбохозяйственных исследований. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2008. 256 с.
 12. Гетьман Т. П. Визуальные подводные наблюдения при оценке качественно-количественных показателей ихтиоценоза. *Экология моря*. 2007. Отдельный вып. 74. С. 13-17. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25457272>
 13. Мочек А.Д. Экологическая организация прибрежных сообществ морских рыб. Киев: Наукова думка, 1978. С. 3-18.
 14. Halford A., Thompson A. A. Visual census surveys of reef fish. Townsville: Australian institute of marine science, 1994. 22 p.
 15. Берг Л. С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1948-1949. Ч. 1-3. 1382 с. URL: <https://www.twirpx.com/file/285814/>
 16. Васильева Е. Д. Рыбы Черного моря. Определитель морских, солоноватоводных, эвригаллиных и проходных видов с цветными иллюстрациями, собранными С. В. Богородским. М.: изд-во ВНИРО, 2007. – 238 с. URL: <http://dSPACE.vniro.ru/handle/123456789/2166>
 17. Замбриборщ Ф. С. К систематике бычков Черного и Азовского морей (краткий определитель). *Вестник зоологии*. 1968. Т. 10, № 1. С. 37-44. URL: http://mail.izan.kiev.ua/vz-pdf/1968/1/68_1_05.pdf
 18. Световидов А. Н. Рыбы Черного моря. – М.; Л.: Наука, 1964. – 551 с. URL: https://doi.org/10.21072/Black_Sea_Fish
 19. Павлов П. Й. Фауна України. Т. 8. Риби. Вип. 1. К.: Наук. думка, 1980. 352 с. <http://www.izan.kiev.ua/fau-ukr.htm>
 20. Мовчан Ю. В., Смирнов А. І. Фауна України. Т. 8. Риби. Вип. 2. Коропові. Ч. 1. Плітка, ялець, голянь, краснопірка, амур, білизна, верховка, лин, чебачок амурський, підуст, пічкур, марена. К.: Наук. думка, 1981. 428 с. <http://www.izan.kiev.ua/fau-ukr.htm>
 21. Мовчан Ю. В., Смирнов А. І. Фауна України. Т. 8. Риби. Вип. 2. Коропові. Ч. 2. Шемая, верховодка, бистрянка, плоскирка, абрамис, рибець, чехоня, гірчак, карась, короп, гіпофталмійтис, аристіхтис. К.: Наук. думка, 1983. 360 с. <http://www.izan.kiev.ua/fau-ukr.htm>
 22. Мовчан Ю. В. Фауна України. Т. 8. Рыбы. Вип. 3. Вьюновые, сомовые, икталуровые, пресноводные угри, конгеровые, саргановые, тресковые, колюшковые, игловые, гамбузиновые, зеусовые, сфиреновые, кефалевые, атериновые, ошибневые. Киев : Наук. думка, 198. – 368 с. <http://www.izan.kiev.ua/fau-ukr.htm>
 23. Щербуха А. Я. Фауна України. Т. 8. Риби. Вип. 4. Окунеподібні (окуневидні, губаньовидні, драконовидні, собачковидні, піщанковидні, ліровидні, скумбрієвидні. К.: Наук. думка, 1982. 384 с.
 24. Смирнов А. И. Фауна України. Т. 8. Рыбы. Вип. 5. Окунеобразные (бычковые), скорпенообразные, камбаловые, присоскопорообразные, удильщико-образные. К.: Наук. думка, 1986. 320 с. URL: <http://www.izan.kiev.ua/fau-ukr.htm>
 25. European sea fishes Gibraltar to Norway / Ed. by G. Jennings. Calypso Publications, London, 1996. 208p.
 26. Froese R., Pauly D. (Eds). FishBase. World Wide Web electronic publication, 2007. URL: <http://www.fishbase.org/summary/speciessummary.php?id=108> version (08/2007)
 27. IUCN Red List of threatened animals. Intern. Union of Conservation of Nature and Natural Resources. USA. Printed by Kervin press, 1996. 368 p.
 28. Kottelat M., Freyhof J. Handbook of European freshwater fishes. Kottelat, Cornol, Switzerland and Freyhof, Berlin, Germany, 2007. 660 p. URL: <http://www.blacksea-commission.org/publ-BSFishList.asp>
 29. Miller J., Loates M J. Fish of Britain and Europe. Harper Collins Publishers, London, 1997. 288 p.
 30. Nelson J. S. Fishes of the world (4 rd edition). New York: J. Willey & Sons, Inc., 4th edition, 2006. 601 p.
 31. Black Sea Fish Check List. Compiled by M. Yankova. – Black Sea Commission Publication, 2010. – 53 p.
 32. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). М.: Пищ. пром-сть,

1966. 375 с.
33. Margalef R. Information theory in ecology. *General Systems*. 1958. 3. P. 36-71.
34. Shannon C. E., Weaver W. The mathematical theory of communication. Urbana: University of Illinois Press, 1949. 125 p.
35. Pielou E. C. The measurements of diversity in different types of biological collections. *J. Theoret. Biol.* 1966. 13. P. 131-144. URL: [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(66\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0022-5193(66)90013-0)
36. Газетов Е. И., Мединец В. И., Снигирев С. М., Снигирев П. М., Абакумов А. Н., Пищук В. З. Исследования гидрологических характеристик морских вод у острова Змеиный в 2016-2017 гг. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна Серія «Екологія»*. 2019. Вип. 20. С. 42-55. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2019-20-04>
37. Снигирев С. М., Чернявский А. В., Наум Е. А., Галкина А. А., Мединец В. И., Газетов Е. И., Конарева О. П., Снигирев П. М. Состояние макрозообентоса в прибрежной зоне острова Змеиный в 2016-2017 гг. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна Серія "Екологія"*. 2019. Вип. 21. С. 81-98. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2019-21-07>
38. Червона книга України. Тваринний світ / за ред. І. А. Акімова. К.: Глобалконсалтинг, 2009. 600 с. <https://redbook-ua.org/>; <https://redbook.land.kiev.ua/2.html>
39. Black Sea Red Data Book. / Ed. by H. J. Dumont. New York: United Nations Office for Project Services, 1999. – 413 p.

Надійшла: 27.09.2020

Прийнята: 20.10.2020

УДК (UDC):619:615.285:339.1(477)

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-23-09>

М. М. ФЕДОРЯК¹, д-р біол. наук, проф., **Т. В. ФИЛИПЧУК¹**, канд. біол. наук,
А. В. ЖУК¹, канд. біол. наук, **К. Ю. ТИМЧУК¹**, **А. М. ХОЛІВЧУК¹**

¹Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
вул. Коцюбинського, 2, 58012, Чернівці, Україна

e-mail: m.fedoriak@chnu.edu.ua

t.fylypchuk@chnu.edu.ua

a.zhuk@chnu.edu.ua

katerynagavryliak@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6200-1012>

<https://orcid.org/0000-0001-6547-1135>

<https://orcid.org/0000-0002-0405-8037>

<https://orcid.org/0000-0001-5238-1544>

kholivchuk.alina@chnu.edu.ua

ПРОТИВАРООЗНІ ВЕТПРЕПАРАТИ НА РИНКУ УКРАЇНИ В КОНТЕКСТІ АНАЛІЗУ ФАКТОРІВ РИЗИКУ ДЛЯ МЕДОНОСНИХ БДЖІЛ

Мета. Зібрати дані про ветеринарні препарати для лікування варрозу бджіл, які доступні на сучасному ринку України; систематизувати інформацію з урахуванням вмісту діючих речовин, форми випуску та виробника й створити перелік доступних на українському ринку ветеринарних препаратів для знищення кліща *Varroa*.

Методи. Аналіз інформації, отриманої у 2015–2020 роках шляхом анкетування бджолярів, безпосереднього спілкування з ними, перегляду інтернет-ресурсів, відвідування ветеринарних аптек; створення інформаційної бази противароозних препаратів.

Результати. На ринку противароозних препаратів України станом на вересень 2020 року доступно не менше 136 найменувань, 79 з яких – імпорتنі. У їх складі встановлено наявність десяти діючих речовин (амітраз – 37 препаратів, флувалінат – 30, флуметрин – 12, бромпропілат – 5, кумафос – 2, акрінатрин – 1, тимол – 14, мурашина кислота – 6, молочна кислота – 6, шавлева кислота – 9), рослинних ефірних олій та інших речовин. Натомість станом на лютий 2020 року до Державного реєстру ветпрепаратів, дозволених до використання в Україні, занесено лише 17 противароозних акарицидів. Виявлено препарати-аналоги з однаковою концентрацією тієї ж діючої речовини від різних виробників; препарати з однаковою назвою, але різним походженням, що відрізняються як за концентрацією діючої речовини, так і за формою випуску; численні технічні помилки у зазначенні вихідних концентрацій на сайтах інтернет-магазинів, а також інші ризики, пов'язані з недоброчесністю реалізаторів.

Висновки. Отримані результати вказують на необхідність посилення контролю на ринку ветеринарних медичних препаратів в Україні.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: бджоли, *Apis mellifera* Linnaeus, 1758, варооз, варроатоз, ветеринарний препарат, діюча речовина

Fedoriak M. M.¹, Fylypchuk T. V.¹, Zhuk A. V.¹, Tymchuk K. Y.¹, Kholivchuk A. M.¹

¹*Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University*

2, Kotsiubynsky Str., Chernivtsi, 58012, Ukraine

VETERINARY MEDICINAL PRODUCTS TO TREAT VARROOSIS ON THE UKRAINIAN MARKET IN THE CONTEXT OF RISK FACTORS ANALYSIS FOR HONEY BEES

Purpose. To collect information on available on the Ukrainian market veterinary medicinal products to treat honey bee varroosis caused by *Varroa destructor* Anderson and Trueman, 2000; to systematize the information and compile the list of the veterinary medicinal products taking into account the content of active substances, dosage form and producer.

Methods. Analysis of the information obtained in 2015–2020 by surveying beekeepers, direct communication with them, browsing Internet resources, visiting veterinary pharmacies; creation of an information database of anti-*Varroa* medicinal products.

Results. As for September 2020, at least 136 items of veterinary medicinal products to treat varroosis are available on the market in Ukraine, of which 79 are imported. They contain ten active substances (amitraz – in

© Федоряк М. М., Филипчук Т. В., Жук А. В., Тимчук К. Ю., Холівчук А. М., 2020



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/).

37 products, fluvalinate – 30, flumethrin – 12, bromopropylate – 5, coumaphos – 2, acrinatrin – 1, thymol – 14, formic acid – 6, lactic acid – 6, oxalic acid – 9), vegetable essential oils and other substances. However, as for February 2020, only 17 anti-Varroa products have been included into the State Register of Veterinary Medicinal Products Permitted for Use in Ukraine. Analogs with the same concentration of the same active substance from different producers have been identified; drugs with the same name but different origins, differing both in the concentration of the active substance and in the dosage form; numerous technical errors in the indication of initial concentrations on the sites of online stores, as well as other risks associated with the dishonesty of sellers.

Conclusions. The obtained results stress the need to strengthen control over the market of veterinary medicaments to treat honey bee varroosis in Ukraine.

KEYWORDS: honeybee, *Apis mellifera* Linnaeus, 1758, varroosis, veterinary medicinal product, active substance

Федоряк М. М.¹, Филипчук Т. В.¹, Жук А. В.¹, Тимчук К. Ю.¹, Холивчук А. Н.¹

¹Черновицкий национальный университет имени Юрия Федьковича

ул. Коцюбинского, 2, 58012, Черновцы, Украина

ПРОТИВОВАРРОАТОЗНЫЕ ВЕТПРЕПАРАТЫ НА РЫНКЕ УКРАИНЫ В КОНТЕКСТЕ АНАЛИЗА ФАКТОРОВ РИСКА ДЛЯ МЕДОНОСНЫХ ПЧЕЛ

Цель. Собрать данные о ветеринарных препаратах для лечения варроатоза пчел, которые доступны на современном рынке Украины; систематизировать информацию с учетом содержания действующих веществ, формы выпуска, производителя и создать список доступных на украинском рынке ветеринарных препаратов для уничтожения клещей *Varroa*.

Методы. Анализ информации, полученной в 2015–2020 годах путем анкетирования пчеловодов, непосредственного общения с ними, просмотра интернет-ресурсов, посещения ветеринарных аптек и создание информационной базы противоварроатозных препаратов.

Результаты. На рынке противоварроатозных препаратов Украины по состоянию на сентябрь 2020 года доступно не менее 136 наименований, 79 из которых – импортных. В их составе установлено наличие десяти действующих веществ (амитраз – 37 препаратов, флувалинат – 30, флуметрин – 12, бромпропилат – 5, кумафос – 2, акринатрин – 1, тимол – 14, муравьиная кислота – 6, молочная кислота – 6, шавелевая кислота – 9), растительных эфирных масел и других веществ. Взамен по состоянию на февраль 2020 года в Государственный реестр ветпрепаратов, разрешенных к использованию в Украине внесено только 17 противоварроатозных акарицидов. Обнаружены препараты-аналоги с одинаковой концентрацией того же действующего вещества от разных производителей; препараты с одинаковым названием, но разным происхождением, которые отличаются как по концентрации действующего вещества, так и по форме выпуска; многочисленные технические ошибки в указании исходных концентраций на сайтах интернет-магазинов, а также другие риски, связанные с недобропорядочностью реализаторов.

Выводы. Полученные результаты указывают на необходимость усиления контроля на рынке ветеринарных медицинских препаратов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пчелы, *Apis mellifera* Linnaeus, 1758, варрооз, варроатоз, ветпрепарат, действующее вещество

Вступ

Втрати бджолиних колоній *Apis mellifera* Linnaeus, 1758, – одна з найактуальніших еколого-економічних проблем сьогодення. Чільне місце серед чинників, що негативно впливають на благополуччя бджіл, займає варооз (варроатоз) – захворювання, спричинене ектопаразитичним кліщем *Varroa destructor* Anderson and Trueman, 2000, що нині набуло поширення по всьому світу [1–3]. Своєчасна діагностика та правильна обрана стратегія захисту бджолиних колоній від ураження кліщем *Varroa* дозволяє суттєво зменшити їх втрати після зимівель [4]. Отож багато наукових праць присвячено пошуку ефективних методів моніторингу закліщованості вуликів,

профілактичних та лікувальних заходів і дієвих противароозних препаратів [5–9]. Так, нещодавно проаналізовано ефективність чотирьох акарицидних препаратів при застосуванні в умовах Полтавської області [10]. Показано що ефективними є смужки Флуконтат та емульсія Тактаміт; препарати Варолом та Вароацид виявилися менш ефективними. При цьому встановлено позитивний вплив лікувальних препаратів на показники льотної активності та медову продуктивність бджіл за вароозу [10].

Суттєвою перешкодою у боротьбі з вароозом постає здатність популяцій кліща набувати резистентності до дії акарицидних препаратів за умови їх систематичного ви-

користання [9, 11–13]. Показано, що вже на другий рік застосування ефективність акарициду знижується на 20–80 % [14]. Під час опитувань нами виявлено, що нерідко українські практикуючі бджолярі враховують лише назву препарату, не беручи до уваги діючу речовину у його складі. Часто вирішальним фактором при виборі акарициду слугує вартість препарату. Станом на 2020 рік загальна вартість обробки однієї сім'ї коливалася в межах 0,76–11,24 грн. [10, 15]. Як наслідок, виникають ситуації заміни одного малоефективного (через тривале вживання) препарату на інший – на основі тієї ж діючої речовини. Таким чином, через недостатню обізнаність бджолярів проблема резистентності кліщів *Varroa* тільки за-

гострюється. Окрім того, на українському ринку часто пропонуються препарати без маркування про склад і концентрацію діючої речовини.

Разом з тим, науковці піднімають питання токсичного впливу окремих акарицидів на бджіл, а також забруднення бджолопродуктів залишками препаратів [8, 16–18].

Мета. Зібрати дані про ветеринарні препарати для лікування вароозу бджіл, які доступні на сучасному ринку України; систематизувати інформацію з урахуванням вмісту діючих речовин, форми випуску та виробника й створити перелік доступних на українському ринку ветеринарних препаратів для знищення кліща *Varroa*.

Об'єкти та методи дослідження

Перелік противароозних препаратів складено на основі результатів опитування практикуючих бджолярів України протягом 2015–2020 рр. із використанням стандартного протоколу COLOSS; інформації, отриманої під час безпосереднього спілкування з бджолярами; перегляду рекомендацій та відгуків у бджолярських інтернет-спільнотах; відвідування ветеринарних аптек м. Чернівці та інтернет-магазинів бджільницького спрямування. Зокрема, до щорічного анкетування в рамках міжнародного моні-

торингу смертності бджіл під егідою міжнародної асоціації COLOSS долучилася така кількість респондентів: після зимівлі 2014–2015 рр. – 300, 2015–2016 рр. – 399, 2016–2017 рр. – 536, 2017–2018 рр. – 627, 2018–2019 рр. – 677, 2019–2020 – 702 [19–21]. Отриману інформацію було зведено до загальної бази даних, де для кожного препарату вказували форму випуску, діючу речовину і допоміжні компоненти (за умови їх наявності), виробника та країну випуску.

Результати та обговорення

За результатами шестирічного моніторингу втрат бджолиних колоній у зимовий період в Україні [22, 23] встановлено, що діагностику закліщованості вуликів проводить до 90 % респондентів, тоді як лікування від вароозу здійснюють до 97 % опитаних бджолярів. При цьому розрив може бути досить істотним. Так, відсоток бджолярів, що після зимівель 2014–2015 та 2016–2017 рр. лікували бджіл без здійснення моніторингу закліщованості, становив 52 % респондентів. А саме цей показник є визначальним при обранні стратегії боротьби із *V. destructor* [6, 8]. Якщо ступінь ураження не перевищує 3 екземплярів кліщів на 100 бджіл або на 100 комірок розплоду із середини гнізда, використання сильнодіючих хімічних препаратів недоцільне [24]. У таких випадках ефективними заходами визнано видалення печатного трутневого роз-

плоду, заміну матки, протиroyові заходи, застосування кліщовловлювачів, фізичних методів (термічна обробка, обробка ультрафіолетом), використання ефірних олій та препаратів на рослинній основі [6, 8, 14, 17].

Згідно чинної Інструкції щодо попередження та ліквідації хвороб і отруєнь бджіл [24], за умов інтенсивної інвазії (4 і більше екземплярів *V. destructor* на 100 бджіл або на 100 комірок розплоду із середини гнізда) рекомендоване використання ялицевої, соснової, кропової ефірних олій, рослинного відвару КАС-81. Водночас наголошується на необхідності проводити літні обробки низкою акарицидних препаратів одразу після відкачки товарного меду, коли в сім'ях ще мінімальна кількість печатного розплоду (орієнтовно у період з 25.07 до 05.08). Рекомендовано наступні акарициди на основі:

- 1) амітразу – таблетки Апіваролу, Вароацид, Біпін, Тактик;
- 2) флувалінату – Апісан, Апістан;
- 3) бромпропілату – Фольбекс ВА, Акпін/Неорон;
- 4) флуметрину – Байварол.

Для осінньої обробки рекомендують використовувати органічні кислоти, а для завершальної обробки – водні аерозолі Тактику і Біпіну. Варто відзначити, що Інструкція була розроблена 30 січня 2001 року і з того часу не оновлювалась. Зокрема, запропонований препарат Санвар на сучасному українському ринку ветпрепаратів відсутній.

Станом на лютий 2020 року до Державного реєстру ветпрепаратів, дозволених до використання в Україні, [25] занесено 17 противарозних акарицидів: Апівароль, Апімітрин, Вароацид, Тактаміт, Апізан, Апісан, Варокіл ХЛ, Варолом, Варотом, Антиваро, Байварол, Варостоп, Варофарм, Варофлу, ФлуКонтакт, Формідол та Апігард Гель. Водночас кількість пропозицій на українському ринку ветпрепаратів значно ширша. Так, станом на 2015 рік В. Л. Коваленко та Л. І. Романенко наводять перелік із 32 акарицидів [26]. Серед них 31,3 % припадає на дві основні діючі речовини: амітразу та флувалінат.

В результаті проведених досліджень встановили що, за останні п'ять років цей перелік поповнився більш ніж сотнею акарицидів. Нами складено перелік доступних на українському ринку противарозних препаратів, який станом на вересень 2020 р. містить 136 найменувань (табл.). Серед них на основі амітразу – 37 препаратів, флувалінату – 30, флуметрину – 12, бромпропілату – 5, кумафосу – 2, акрінатрину – 1. Чотири препарати віднесено нами до комбінованих синтетичних препаратів, оскільки містять дві і більше з наведених вище речовин. Так, білоруський акарицид Флуамі являє собою суміш флуметрину, амітразу, тимола та рослинних ефірних олій. Органічні кислоти (мурашина, щавлева, молочна) і комбіновані препарати на їх основі об'єднують 21 найменування. До переліку було включено тільки продукцію, марковану як ветеринарний препарат для бджільництва. Перелік містить 14 препаратів на основі тимола (природного та штучно синтезованого). Частка рослинних препаратів невелика: всього 8 найменувань. Два акарициди Віо-

acaricide-R5 та Санапін пропонуються науковими закладами, проте не користуються популярністю у бджолярів.

Близько 40 % наведених у таблиці акарицидів (53 найменування) мають вітчизняне походження. Ще три препарати (Апіатраз, Апіваро Pro, Апіфлум) випускаються на території України українсько-польським підприємством ТМ BeeWell. Проте його продукція не включена до державного реєстру у Польщі і відсутня на польському ринку ветпрепаратів. Решта 79 препаратів імпортується в Україну. Зокрема, це 32 акарициди російського походження, 6 – китайського, 21 – із держав ЄС (Болгарія, Греція, Нідерланди, Німеччина, Польща, Румунія, Угорщина, Швеція), 16 – із інших європейських держав (Білорусь, Великобританія, Ізраїль, Молдова, Сербія, Туреччина, Швейцарія), 2 – виробництва Республіки Корея та 1 – США.

Аналіз противарозних препаратів за формою випуску показав, що 52 % випускають у формі смужок і стрічок (картонних, деревних, полімерних), просякнутих розчином акарициду і в окремих випадках – калійною або натрієвою селітрою. Такі препарати мають герметичну упаковку, яка містить інформацію про виробника, хімічний склад і концентрацію діючої речовини, вміст додаткових речовин, дату випуску і термін придатності та коротку або детальну інструкцію з їх використання. Більшість спеціалізованих інтернет-магазинів та продавців на торговельних сайтах вказують цю інформацію в описі товару. Ще 20 % препаратів реалізують у вигляді готових до застосування продуктів: дозованих розчинів, гелю, спрею, фумігаційних таблеток, термосублімаційних шнурів. Здебільшого ці акарициди також супроводжуються всією необхідною інформацією. Однак розчини можуть реалізовуватися як у повній комплектації виробника, так і окремими ампулами або розфасованими реалізатором у менші резервуари відливами. У останньому випадку інформацію про препарат бджоляр отримує виключно зі слів продавця без будь-яких підтверджень оригінальності препарату, його точного вмісту, виробника тощо.

Решта препаратів реалізують у вигляді концентратів для виготовлення розчинів та емульсій, густих екстрактів, порошків та рослинної сировини, які потребують розведення, розчинення та інших видів попередньої підготовки до використання. Саме ці

Таблиця

Противарозні препарати, доступні на українському ринку станом на вересень 2020 року

№	Назва препарату	Концентрація / вміст ДР	Форма випуску	Виробник	Країна виробника
1. Амїтраз (Amitraz) C₁₉ H₂₃ N₃					
1.1. Однокомпонентні препарати					
1	Амїтраз-125	12,5 % розчин	концентрат емульсії в ампулах 1,0 мл	ПП «Фарматон»	Україна
2	Апїатраз	6,75 мг/смужку	смужки картонні	ТМ BeeWell ТзОВ Українсько-польське спільне підприємство «ЗВК»	Україна, Польща
3	Арївар	3,33 %, 0,5 г/смужку	смужки полімерні	Véto-pharma	Франція
4	Апївар	12,5 мг/таблетку	таблетки фумігаційні	ТОВ «O.L.KAR-АгроЗоо Вет-Сервіс»	Україна
5	Арїварол	12,5 мг/таблетку	таблетки фумігаційні	BiowetPuławy	Польща
6	Апїмітрин	12,5 % розчин	концентрат емульсії в ампулах 1,0 мл	ПрАТ «Реагент»	Україна
7	Апїмитрин	12,5 % розчин	концентрат емульсії в ампулах 0,5 і 1,0 мл	ТОВ «ХІМАП»	Україна
8	Бїпін	12,5% розчин	концентрат емульсії в ампулах 0,5 і 1,0 мл	ООО «Апи-Сан»	Росія
9	Бїовар	500 мг/смужку	смужки полімерні	Biowet Puławy	Польща
10	Бїпін	12,5 % розчин	концентрат емульсії в ампулах 0,5 і 1,0 мл	ДВП «Скіф»	Україна
11	Бїпін-І	інформація відсутня	концентрат емульсії в ампулах 0,5 мл	ТОВ ВФ «Базальт»	Україна
12	Бїпін-Т	амїтраз 12,5 % розчин, тимол	концентрат емульсії в ампулах 1,0 мл	ЗАТ «Агробіопром»	Росія
13	Бїпінаміт	12,5 % розчин	концентрат емульсії в ампулах 1,0 мл	ТОВ «O.L.KAR-АгроЗоо Вет-Сервіс»	Україна
14	Varidol-125	12,5 % розчин	концентрат емульсії + целюлозні фумігаційні смужки, просякнуті нітратною сумішшю	Výzkumný ústav včelařský, s.r.o Dole	Чехія
15	Вароацид	0,0125 г/смужку	смужки картонні термічні	ТОВ НДП «Ветеринарна медицина»	Україна
16	Варропол	м.ч. – 1 %	смужки полімерні	ООО «СТРУКТУРА»	Росія
17	Дїлабик	12,5 % розчин	концентрат емульсії в ампулах 0,5 і 1,0 мл	ООО «Біотех БК»	Росія
18	Полїсан®	6 мг/смужку	смужки картонні термічні	ЗАО «Агробіопром»	Росія
19	Scabatox	12,5 % розчин	концентрат емульсії	S.C. PASTEUR – FILIPEȘTI BRANCH	Румунія
20	Тактамїт	12,5 % розчин	концентрат емульсії в ампулах 1,0 мл	ННЦ «ІЕКВМ»	Україна
21	Тактик	12,5 % розчин	концентрат емульсії в ампулах 0,5 і 1,0 мл	ДВП «Скіф»	Україна
22	Tactic	12,5 % розчин	концентрат емульсії в ампулах 1,0 мл	Intervet International B.V.	Нідерланди
23	Tactic	12,5 % розчин	концентрат емульсії	MSD Animal Health	Угорщина
24	Tactic	12,5% розчин	концентрат емульсії	Bewell	Румунія
25	ТЭДА	8 мг/шнур	термосублимаційний шнур, просякнутий калієвою селїтрою	ООО НПЦ«ФОКС и Ко»	Росія

Продовження таблиці					
№	Назва препарату	Концентрація / вміст ДР	Форма випуску	Виробник	Країна виробника
26	Янтрин	6,25% розчин	концентрат емульсії в ампулах 1,0 мл	НПО «ЭЛТОС»	Росія
1.2. Комбіновані препарати на основі амітразу					
27	Амипол-Т	6,75 мг/смужку, тимол (0,8 мг)	смужки деревні	ЗАТ «Агробіопром»	Росія
28	Амітраз Плюс	6,75 мг/смужку, тимол (0,8 мг)	смужки деревні	ТОВ «O.L.KAR-АгроЗоо Вет-Сервіс»	Україна
29	Амітраз-Т	6,75 мг/смужку, тимол (0,8 мг), ЕО ялиці (0,8 мг)	смужки деревні	ДВП «Скіф»	Україна
30	Апигель	0,024 %, тимол (0,5 %), ЕО коріандру (0,3 %)	гель	ЗАО «Агробіопром»	Росія
31	Апімітрин з тимолом	12,5% розчин, тимол	концентрат емульсії в ампулах 1,0 мл	ПрАТ «Реагент»	Україна
32	Апитак	12,5% розчин, ЕО чебрецю (1,5%)	концентрат емульсії в ампулах 0,5 і 1,0 мл	ООО «Аписфера-2000»	Росія
33	Basalt	12,5 мг/таблетку, тимол (4,5 мг)	таблетки фумігаційні	ТОВ ВФ «Базальт»	Україна
34	Basalt	6,8 мг/смужку, тимол (0,8 мг)	смужки деревні	ТОВ ВФ «Базальт»	Україна
35	Біпін-Т	12,5 % розчин (згідно сертифікату відповідності від 01.2019 р.)	концентрат емульсії в ампулах 1,0 мл	ДВП «Скіф»	Україна
36	Біпін-Тимол	12,5% розчин, тимол (1,5 %)	концентрат емульсії в ампулах 0,5 і 1,0 мл	ТОВ «O.L.KAR-АгроЗооВет-Сервіс»	Україна
37	Варроадез	6,85 мг/смужку, ЕО коріандру (0,8 мг)	смужки деревні	ЗАТ «Агробіопром»	Росія
38	Пчеловар	12,5 мг/таблетку, тимол (6,25 мг), менгол (4,17 мг), калієва селітра (5 мг)	таблетки фумігаційні	ООО «Нектар»	Білорусь
2. Флувалінат (Fluvalinate) C₂₆H₂₂ClF₃N₂O₃					
2.1. Однокомпонентні препарати					
39	Акарасан®	20 мг/смужку	смужки картонні термічні, просякнуті калієвою селітрою	ООО «Апи-Сан»	Росія
40	Аква-Фло	20 % розчин	розчин у ампулах 1,0 мл	ООО «Унифарм»	Росія
41	Апифит	100 мг/смужку	смужки деревні	ООО «Эковит»	Росія
42	Варокіл ХЛ	40 мг/смужку	смужки полімерні	Sichuan Wangshi Animal Health Co., Ltd, KHP	КНР
43	Manhao	40 мг/смужку	смужки полімерні	Sichuan Wangshi Animal Health Co., Ltd, KHP	КНР
44	ManPu	40 мг/смужку	смужки полімерні, смужки деревні	Sichuan Wangshi Animal Health Co., Ltd, KHP	КНР
45	Mavrilk	40 мг/смужку	смужки полімерні	Sichuan Wangshi Animal Health Co., Ltd, KHP	КНР
46	Melisan	2,0 %	смужки деревні	Melifera-Nord	Молдова
47	ПАК-750	750 мг/смужку	смужки деревні	ООО «Унифарм»	Росія

Продовження таблиці					
№	Назва препарату	Концентрація / вміст ДР	Форма випуску	Виробник	Країна виробника
48	Танис	0,5 мг/смужку	смужки картонні термічні, просякнуті натрієвою селітрою	ООО «Альтернатива»	Росія
49	Флувалісан	40 мг/смужку	смужки полімерні	ВНП «УКРЗООВЕТ-ПРОМІОСТАЧ»	Україна
50	Фумисан®	8 мг/смужки	смужки деревні	ООО «Апи-Сан»	Росія
2.2. Комбіновані препарати на основі флувалінату					
51	Варросан®	4 мг/смужку, гераніол (0,02мг)	смужки деревні	ООО «Апи-Сан»	Росія
52	Манїє	4,2 %, мурашина кислота (0,8 %)	спрей	Sichuan Wangshi Animal Health Co., Ltd, КНР	КНР
2.3. Тау-флувалінат					
53	Апісан	41 мг/смужку	смужки деревні	ННЦ «ІЕКВМ»	Україна
54	Апісан	40 мг/смужку	смужки деревні	«Харків НДП ВМ»	Україна
55	Апістан	824 мг 10,3 % розчину/смужку	смужки полімерні	Wellmark International	США
56	Апіваро Pro	81 мг/смужку	смужки картонні	ТМ BeeWell ТзОВ Українсько-польське спільне підприємство «ЗВК»	Україна, Польща
57	Варолом	80 мг/смужку	смужки деревні	ФОП «Лемішев О.М.»	Україна
58	Varotom®	80 мг/смужку	смужки деревні	Evrotom	Сербія
59	Gabon PF	90 мг/смужку	смужки деревні	Výzkumný ústav včelařský, s.r.o Dole	Чехія
60	Екогао	80 мг/смужку	смужки деревні	SHINIL BIOGEN CO., LTD	Республіка Корея
61	Mavrik	42 % розчин	концентрат емульсії	інформація відсутня	Греція
62	Mavrik	42 % розчин	концентрат емульсії	ADAMA Ltd.	Ізраїль
63	Mavrirol	240 мг/стрічку	стрічки	Institutul de cercetare - dezvoltare pentru apicultura S.A.	Румунія
64	Тауфлу	80 мг/смужку	смужки деревні	ПрАТ «РЕАГЕНТ»	Україна
2.4. Комбіновані препарати на основі тау-флувалінату					
65	Апі-флу	80 мг/смужку, ЕО чебрецю (25мг), лаванди (35 мг), розмарину (30 мг)	смужки деревні	ДВП «Скіф»	Україна
66	Флували-дез®	60 мг/смужку, ЕО чебрецю (60мг), лаванди (60 мг), розмарину (80 мг)	смужки деревні	ЗАО «Агробиопром»	Росія
2.5. Натрію флувалінат					
67	Бивароол	24 % розчин	концентрат емульсії в ампулах 0,5 і 1,0 мл	ЗАО «Агробиопром»	Росія
68	Апізан	40 мг/смужку	смужки деревні	ПП «Наукове»	Україна
3. Флуметрин (Flumetrin) C₂₈H₂₂Cl₂FNO₃					
3.1. Однокомпонентні препарати					
69	Антиваро	3,6 мг/смужку	смужки деревні	ТОВ «O.L.KAR-АгроЗооВет-Сервіс»	Україна
70	Аріппум	4,15 мг/смужку	смужки картонні	SHINIL, BIOGEN CO., LTD	Південна Корея

Продовження таблиці					
№	Назва препарату	Концентрація / вміст ДР	Форма випуску	Виробник	Країна виробника
71	Апіфлум	інформація відсутня	смужки деревні	ТМ BeeWell ТзОВ Українсько-польське спільне підприємство «ЗВК»	Україна, Польща
72	Bayvarol	3,6 мг/смужку	смужки полімерні	Bayer AG	Німеччина
73	Varostop	3,6 мг/смужку	смужки деревні	Primavet-Sofia Ltd	Болгарія
74	Варофарм	3,6 мг/смужку	смужки деревні	ТОВ «Фарматрон»	Україна
75	Варофлу	3,6 мг/смужку	смужки деревні	ПрАТ «РЕАГЕНТ»	Україна
76	Manjing	3,6 мг/смужку	смужки полімерні	Sichuan Wangchi Animal Health Co	КНР
77	ФлуКонтакт	3,6 мг/смужку	смужки деревні	ФОП «Лемішев О.М.»	Україна
78	ФлуКонтакт «М/93»	3,6 мг/смужку	смужки деревні	«Меліса-93»	Україна
79	Флуактив	3,6 мг/смужку	смужки деревні	Ekovet	Польща
3.2. Комбіновані препарати на основі флуметрину					
80	Флумет-Рій	3,85 мг/смужку, тимол (0,8 мг), ЕО ялиці (0,75 мг)	смужки деревні	ДВП «Скіф»	Україна
4. Бромпропілат (Brompropilata) (BrC₆H₄)₂C(O)COOCH(CH₃)₂					
81	Неорам	інформація відсутня	рідина в ампулах по 1 мл	ООО «Унифарм»	Росія
82	Неорон	500 г/л	концентрат емульсії	Syngenta AG	Нідерланди
83	Неорон-Т	0,3 г / смужка	картонні смужки, просякнуті калієвою селітрою	Syngenta AG	Нідерланди
84	Folbex VA	370 мг/смужку	смужки паперові	Ciba-Geigy Agrochemicals	Швейцарія
5. Кумафос (Kumafos) C₁₄H₁₆ClO₅PS					
85	Perizin	3,2 % розчин	концентрат емульсії	Bayer AG	Німеччина
86	CheckMite+	13,6 г/смужку	смужки деревні	Bayer AG	Німеччина
6. Акрінатрин (Acrinathrin) C₂₆H₂₁F₆NO₅					
87	Gabon PA-92	1,2–1,7 мг/смужку	смужки деревні	Bee Research Institute at Dol	Чехія
7. Комбіновані синтетичні препарати					
88	Varachet-forte	тау-флувалінат (240 г/л), аміпраз (200 г/л)	рідина для фумігації	SC Apicris Natura SRL	Румунія
89	Varachet-forte	аміпраз (150 мг), тау-флувалінат (60 мг)	рідина для фумігації	SC Apicris Natura SRL	Румунія
90	Ветфор®	флувалінат (80 мг/смужку), аміпраз (5 мг), ЕО ялиці (0,02 мл), диметил сульф-оксид (2 мл)	смужки деревні	ООО НППЦ «ФОКС и Ко»	Росія
91	Флуамі	флуметрин (3,60 мг), аміпраз (5,25 мг), тимол (40 мг), ЕО коріандр (10 мг), лаванди (14 мг), розмарину (15 мг), чебрецю (12 мг)	смужки деревні	ООО «Нектар»	Білорусь

Продовження таблиці					
№	Назва препарату	Концентрація / вміст ДР	Форма випуску	Виробник	Країна виробника
8. Органічні кислоти					
8.1. Мурашина кислота (Formic acid) CH₂O₂					
92	Муравьинка®	85 %	гель	ООО «Аписфера 2000»	Росія
93	Formidol	85 %, 40 мл/смужку	смужка целюлозна	Bee Research Institute at Dol	Чехія
94	Furmitom®	60 %, 17 г/смужку	смужки картонні	Evrotom	Сербія
95	Мурашина кислота-бджола	86,5 %	рідина	ТОВ «УКРВЕТБІО-ФАРМ»	Україна
96	Мурашина кислота для бджільництва	інформація відсутня	рідина в ампулах по 5 мл	ДВП «Скіф»	Україна
97	Муравьиная кислота	інформація відсутня	рідина	ТОВ «ХІМАП»	Україна
8.2. Щавлева кислота (Oxalic acid) C₂H₂O₄					
98	Щавлева кислота		порошок	ТОВ «O.L.KAR-АгроЗооВет-Сервіс»	Україна
99	Щавлева кислота		порошок	ДВП «Скіф»	Україна
100	Щавлева кислота-бджола		порошок	ТОВ «УКРВЕТБІО-ФАРМ»	Україна
101	Щавелева* кислота		порошок	ПрАТ «Реагент»	Україна
8.3. Комбіновані препарати на основі щавлевої кислоти					
102	Бисанар®	щавлева кислота (20 %), тимол (10%), ЕО коріандр (5%), ялиці (5%)	рідина в ампулах по 1 мл	ЗАО «Агробиопром»	Росія
103	Бисанар®	щавлева кислота (20 %), тимол (10%)	рідина	ЗАО «Агробиопром»	Росія
104	Бісанол	щавлева кислота (1,2 %), тимол (0,5%), ЕО коріандр, ялиці	рідина	інформація відсутня	Україна
105	Гліоксія	3,125 г/смужку, глицерин (6,250 г), вазелінова олія (1,725 г)	смужки картонні	ДВП «Скіф»	Україна
106	Саноксин	щавлева кислота (99,9%), тимол (0,1%)	порошок	ООО «Апи-Сан»	Росія
8.4. Молочна кислота (Lactat acid) C₃H₆O₃					
107	Молочна кислота	молочна кислота (37,5 %), ангідрид молочної кислоти (2,5%)	рідина	ТОВ «УКРВЕТБІО-ФАРМ»	Україна
108	Молочна кислота	40 %	рідина	ПП "Хмельницькмед"	Україна
109	Молочна кислота	40 %	рідина	ТОВ «ХІМАП»	Україна
110	Молочна кислота	80 %	рідина	ТОВ «ХІМАП»	Україна

Продовження таблиці					
№	Назва препарату	Концентрація / вміст ДР	Форма випуску	Виробник	Країна виробника
110	Молочна кислота	80 %	рідина	ТОВ «ХІМАШ»	Україна
111	Молочна кислота	40 %	рідина	ТОВ ВФ «Базальт»	Україна
112	Молочная кислота	молочна кислота (40 %), ангідрид молочної кислоти (2,5%)	рідина	ООО «СКИМК»	Росія
9. Тимол (Thymol) C₁₀H₁₄O					
9.1. Однокомпонентні препарати					
113	Apiguard® Gel	12,5 г	гель	Vita (Europe) Limited	Великобританія
114	Тимол	інформація відсутня	порошок	ПрАТ «Реагент»	Україна
115	Thymol-V	1000 мг/г	порошок	ООО «Унифарм»	Росія
116	Apimol	інформація відсутня	порошок	Melifera-Nord	Молдова
9.2. Комбіновані препарати на основі тимолу					
117	Апидез	тимол (60 мг), ЕО ялиці (80 мг)	смужки деревні	ЗАО «Агробіопром»	Росія
118	Apitand Plus	тимол, ЕО м'яти перцевої, лавра, евкаліпту	смужки картонні	Turkey Beekeeping Limited	Туреччина
119	Апіхелс	тимол (250 мг/г), ЕО евкаліпту (50 мг), ментол (12 мг)	гель	Бровафарма	Україна
120	Бджолодез	60 мг/смужку, ЕО ялиці (80 мг)	смужки деревні	ДВП «Скіф»	Україна
121	Varroa Mucadelesi	тимол, ЕО м'яти перцевої, лавра, евкаліпту	смужки картонні	Turkey Beekeeping Limited	Туреччина
122	Gold Varroa	тимол (30 %), ЕО м'яти перцевої, лавра, евкаліпту	смужки картонні	Turkey Beekeeping Limited	Туреччина
123	Екостоп	5 г/смужку, ЕО м'яти (2 г)	смужки полімерні	ООД «Примавет–Софія»	Болгарія
124	Organik Dogal	тимол, ЕО м'яти перцевої, лавра, евкаліпту	смужки картонні	Turkey Beekeeping Limited	Туреччина
125	Тиматол	60 мг/смужку, ЕО ялиці (80 мг)	смужки деревні	ООО «Нектар»	Білорусь
126	Dogal Varroa Dokme	тимол, ЕО м'яти перцевої, лавра, евкаліпту	смужки картонні	Turkey Beekeeping Limited	Туреччина
9.2. Рослинні препарати					
127	АПИЛИНОЛ®	ЕО коріандру, ліналоол, 7 г	смужки картонні	ООО «Фармбіомедсервис»	Росія
128	АпиМакс	екстракти часнику (10 мл), хвої (40 мл), хвоща польового (10 мл), ехінацеї пурпурової (10 мл), перцю червоного гірконого (10 мл), евкаліпту шаровидного (10 мл), полину звичайного (10 мл)	густий екстракт (бальзам)	ООО «Унифарм»	Росія

Продовження таблиці					
№	Назва препарату	Концентрація / вміст ДР	Форма випуску	Виробник	Країна виробника
129	Бджоліус	екстракт хвої, часнику, хвощу польового, ехінацеї пурпурової, полину звичайного, евкالیпту кулястого, перцю пекучого	густий екстракт	ДВП «Скіф»	Україна
130	Varro & Bee	олія соняшникова, ЕО лавра, чебрецю, олія чорного кмину	смужки картонні	Turkey Beekeeping Limited	Туреччина
131	Девар	0,7 мл/смужку, ЕО ялівцю, чебрецю, кипарису	смужки деревні	ННЦ «Інститут бджільництва імені П.І. Прокоповича»	Україна
132	Еко-плюс	ЕО чебрецю (0,55 мг/смужку), коріандру (0,85 мг), м'яти (0,25 мг), полину гіркого (0,35 мг), ялиці (0,20 мг), евкالیпту (0,20 мг), ялівцю (0,25 мг)	смужки деревні	ДВП «Скіф»	Україна
133	Екопол	ЕО коріандру (80 мг), чебрецю (50 мг), полину гіркого (30 мг), ментол (20 мг)	смужки деревні	ЗАО «Агробиопром»	Росія
134	КАС-81	соснові бруньки (20г), полин гіркий, трава (20г), полин гіркий, квіти (360г)	рослинна сировина		Україна
10. Інші препарати					
135	Bioacaracide-R5	похідні органічних карбонових кислот	рідина	Амперсенд ЛТД, ООО	Україна
136	Санапін	біокисна метало-силікатна сполука	рідина у ампулах по 1 мл	ДВП «Скіф»	Україна

Примітки: * – збережено авторський правопис; ЕО – ефірна олія.

препарати викликають найбільше занепокоєння, оскільки допускають помилку бджоляра при розрахунку необхідної концентрації, технічні помилки у зазначенні вихідних концентрацій на сайтах інтернет-магазинів, плутанину в одиницях вимірювання та численні проблеми, пов'язані з недоброчесністю реалізаторів.

В результаті аналізу інструкцій наведених акарицидів встановлено, що концентрації діючих речовин у складі препаратів-аналогів часто залишаються незмінними, як

і форма випуску. Різняться такі товари виключно брендовою назвою, країною походження та виробником. Наприклад, такі препарати як Апімітрин (Україна), Бипин (Росія), Varidol-125 (Чехія), Scabatox (Румунія), Tactic (Нідерланди) містять 12,5 % розчин амітразу і випускаються у вигляді концентрату емульсії у ампулах фіксованого об'єму. І навпаки, препарати з однаковою назвою, але різним походженням відрізняються як за концентрацією діючої речовини, так і за формою випуску: Apivar

(Франція) випускаються у вигляді полімерних смужок, просякнутах 3,33 % розчином амітазу із розрахунку 0,5 г/смужку; Апівар (Україна) – у вигляді фумігаційних таблеток із розрахунку 12,5 мг амітазу на таблетку і є, очевидно, вітчизняним аналогом польських фумігаційних таблеток Аріварол.

Варто відмітити, що окремі виробники випускають одночасно декілька препаратів, ідентичних за формою випуску і складом під різними брендовими назвами. Наприклад, ДВП «Скіф» (Україна) пропонує препарати Біпін, Біпін-Т і Тактик, які являють собою ампули з фіксованим вмістом (0,5 мл і 1 мл) концентрату емульсії 12,5 % амітазу. Водночас Біпін-Т виробництва ЗАТ «Агробиопром» (Росія), крім амітазу, містить тимол.

В деяких випадках препарати різних виробників мають співзвучні назви, хоча за складом і формою випуску відрізняються. Так, препарат Апімол являє собою порошок тимолу (50 г), а препарат Амипол-Т – деревні смужки, просякнуті амітазом (6,75 мг/смужку) і тимолом (0,8 мг/смужку). Інші приклади омонімічних назв: Апісан / Apistan, Mavrik / Mavrilk, Varotom® / Варолом тощо.

Окремої уваги потребує інформація, надана виробником в описі препарату. На упаковці препаратів Біпін-І (Україна), Апіфлум (Україна-Польща), Апімол (Молдова), Неорам (Росія) дозування діючої речовини не вказане. Для препаратів Біоасарасиде-R5 і Санапін – вказаний тільки клас речовин.

Для акарицидів Варропол (Росія), Melisan (Молдова) вказана лише масова частка діючої речовини. У описі до препаратів Basalt (Україна) у вигляді деревних смужок та фумігаційних таблеток як діючу речовину вказано амітазин, тоді як згідно державного реєстру ветпрепаратів [25], Амітазин – назва акарицидно-інсектицидного препарату для теплокровних на основі амітазу. Термічні смужки Неорон-Т в українських інтернет-магазинах позиціонуються як продукція відомого нідерландського виробника Syngenta AG. В доступних нам джерелах інформації відсутні відомості про виготовлення виробником конкретно ветпрепаратів для бджільництва. Препарат з такою назвою на основі бромпропілату виробник пропонує у вигляді рідини для обробки сільськогосподарських культур від рослинних кліщів. У складі препаратів Бивароол (Росія) та Апізан (Україна) як діючу речовину вказано флувалінат натрію. У доступній нам науковій літературі відсутні відомості про речовину з такою назвою.

Наведений перелік не містить препарати Амітаз-19 (Evrotom, Чехія), Варрооль (Росія) та ряд акарицидів на основі фенотіазину (Phenothiazine, C₁₂H₉NS) – Варрофен, Варроксан, Варротин, назви яких трапляються на бджолярських форумах. Станом на 2020 рік такі акарициди відсутні не лише на ринку України, але й в країнах виробника. Окрім того до переліку не було включено численні препарати сумнівного походження із саморобними етикетками. Однак,



Рис. – Приклади противарозних препаратів сумнівного складу та походження у вільному доступі

варто зауважити, що подібних пропозицій перелік усіх доступних українським бджолярам препаратів значно ширший, ніж запропоновано у таблиці вище.

Наші результати свідчать про відсутність належного контролю за безпечністю, якістю, ефективністю ветеринарних препаратів, їх виробництвом, імпортом та реалізацією. Рекомендації стосовно препаратів,

на ринку чимало (рис.). Отже, на практиці наведені у Інструкції щодо попередження та ліквідації хвороб і отруєнь бджіл, застарілі і потребують перегляду з огляду на сучасні досягнення в галузі ветеринарії та результати наукових досліджень щодо токсичності окремих діючих речовин для бджіл та їх здатності накопичуватися в продукції бджільництва.

Висновки

На основі результатів опитування практикуючих бджолярів України протягом 2015–2020 рр. із використанням стандартного протоколу COLOSS; інформації, отриманої під час безпосереднього спілкування з бджолярами; перегляду рекомендацій та відгуків у бджолярських інтернет-спільнотах нами складено перелік доступних на українському ринку противороозних препаратів, який станом на вересень 2020 року містить 136 найменувань. Серед них на основі амітразу – 37 препаратів, флувалінату – 30, флуметрину – 12, бромпропілату – 5, кумафосу – 2, акрінатрину – 1. Чотири препарати віднесено нами до комбінованих синтетичних препаратів. Натомість станом на лютий 2020 року до Державного реєстру ветпрепаратів, дозволених до використання

в Україні, занесено 17 противороозних акарицидів.

56 препаратів виробляються на території України, 79 – імпортуються переважно з Росії, а також з європейських країн, Китаю, Кореї та США.

Виявлено препарати-аналоги з однаковою концентрацією тієї ж діючої речовини від різних виробників; препарати з однаковою назвою, але різним походженням, що відрізняються як за концентрацією діючої речовини, так і за формою випуску; численні технічні помилки у зазначенні вихідних концентрацій на сайтах інтернет-магазинів, а також інші ризики, пов'язані з недобросовістю реалізаторів.

Отримані результати вказують на необхідність посилення контролю на ринку ветеринарних медичних препаратів.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що дослідження проводились за фінансової підтримки Міністерства освіти і науки України (грант № 0120U102119). Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Література

1. Smith, K. M., Loh, E. H., Rostal, M. K., Zambrana-Torrel, C. M., Mendiola, L., Daszak, P. Pathogens, pests, and economics: Drivers of honey bee colony declines and losses. *EcoHealth*. 2014. No 10. P. 434–445. URL: <https://doi.org/10.1007/s10393-013-0870-2>
2. Locke B. Natural Varroa mite-surviving *Apis mellifera* honeybee populations. *Apidologie*. 2016. Vol. 47. No 3. P. 467–482. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13592-015-0412-8>
3. Steinhauer, N., Kulhanek, K., Antúnez, K., Human, H., Chantawannakul, P. & Chauzat, M. P. Drivers of colony losses. *Current Opinion in Insect Science*. 2018. Vol. 26. P.142–148. <https://doi.org/10.1007/s13592-015-0412-8>
4. Van Der Zee R., Gray A., Pisa L., De Rijk T. An observational study of honey bee colony winter losses and their association with *Varroa destructor*, neonicotinoids and other risk factors. *PloS one*. 2015. Vol. 10. No 7. e0131611. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131611>
5. Єфіменко Т. М., Галатюк О. Є., Коваленко Л. М. Новий спосіб використання органічних кислот для знищення кліща *Varroa*. *Пасіка*. 2017. №11. С. 15–17.
6. Садовникова Е. Ф., Гиско В. Н., Паньків Е. М. Варроатоз пчел : рекомендації. Витебск : ВГАВМ, 2019. 32 с.

7. Tlak Gajger I., Svečnjak L., Bubalo D., Žorac T. Control of *Varroa destructor* mite infestations at experimental apiaries situated in Croatia. *Diversity*. 2020. Vol. 12. No 1. 12 p. URL: <https://doi.org/10.3390/d12010012>
8. Gregorc A., Sampson B. Diagnosis of varroa mite (*Varroa destructor*) and sustainable control in honey bee (*Apis mellifera*) colonies. *Diversity*. 2019. Vol.11 No 12. 243. URL: <https://doi.org/10.3390/d11120243>
9. Rinkevich F. D. Detection of amitraz resistance and reduced treatment efficacy in the Varroa Mite, *Varroa destructor*, within commercial beekeeping operations. *PLoS one*. 2020. Vol. 15 No 1, e0227264. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227264>
10. Назаренко О. С. Варооз медоносних бджіл (поширення, діагностика і лікування) . дис. ... канд. ветеринарних наук за спеціальністю 16.00.11 «Паразитологія». – Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, Львів, 2020. 153 с.
11. Kamler, M., Nesvorna, M., Stara, J., Erban, T., Hubert, J. Comparison of tau-fluvalinate, acrinathrin, and amitraz effects on susceptible and resistant populations of *Varroa destructor* in a vial test. *Experimental and applied acarology*. 2016. Vol. 69 No 1. P.1–9. URL: <https://doi.org/10.1007/s10493-016-0023-8>
12. González-Cabrera, J., Bumann, H., Rodríguez-Vargas, S., Kennedy, P. J., Krieger, K. et al. A single mutation is driving resistance to pyrethroids in European populations of the parasitic mite, *Varroa destructor*. *Journal of pest science*. 2018. Vol. 91. No 3. P. 1137–1144. URL: <https://doi.org/10.1007/s10340-018-0968-y>
13. Stara, J., Pekar, S., Nesvorna, M., Kamler, M., Dosek, I., Hubert, J. Spatio-temporal dynamics of *Varroa destructor* resistance to tau-fluvalinate in Czechia, associated with L925V sodium channel point mutation. *Pest management science*. 2019. Vol. 75 No 5. P. 1287–1294. URL: <https://doi.org/10.1002/ps.5242>
14. Санін Ю. К. Сучасний стан проблеми боротьби з варроатозом бджіл. *Енергетика і автоматика*. 2017. № 2. С. 146–152.
15. Євстаф'єва В. О., Назаренко О. С. Економічне обґрунтування застосування акарицидних препаратів за вароозу медоносних бджіл. Збірник наукових праць наук.-практич. конференції проф.-виклад. складу Полтавської державної аграрної академії за підсумками науково-дослідної роботи в 2019 році (22–23 квітня 2020, м. Полтава). Полтава : РВВ ПДАА, 2020. С. 357–358.
16. Каипкулов Р. Н. Производство лекарственных препаратов для медоносных пчел в странах ближнего и дальнего зарубежья. Единый мир – единое здоровье : VII Международный ветеринарный конгресс. (19–21 апреля 2017, г. Уфа). Уфа : Конгресс-Холл. 2017. URL: <http://zhukov-vet.ru/stati/vii-mezhdunarodnyij-veterinarnyj-kongress-ufa-2017/%C2%ABbolezn-pchel%C2%BB.html> (дата звернення: 12.09.2020).
17. Кісіль Д. О. Визначення ветеринарно-санітарної оцінки меду та його рівня токсичності після обробки препаратом «Апіхелс» проти варроатозу бджіл та порівняльна оцінка безпечності з іншими препаратами. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. Сер. «Ветеринарна медицина». 2018. Вип. 11 (43). С. 66–70.
18. Zikic, B., Aleksic, N., Ristanic, M., Glavinic, U., Vejnovic, B., Krnjaic, I., Stanimirovic, Z. Anti-Varroa Efficiency of Coumaphos and Its Influence on Oxidative Stress and Survival of Honey Bees. *Acta Veterinaria*. 2020. Vol. 70 No 3. P. 355–373. URL: <https://doi.org/10.2478/acve-2020-0027>
19. Brodschneider, R., Gray, A., Adjlane, N. et al. Multi-country loss rates of honey bee colonies during winter 2016/17 from the COLOSS survey. *Journal of Apicultural Research*. 2018. Vol. 57. No 3. P. 452–457. URL: <https://doi.org/10.1080/00218839.2018.1460911>
20. Gray, A., Brodschneider, R., Adjlane, N., Ballis, A., Brusbardis, V., Charrière, J.-D. et al. Loss rates of honey bee colonies during winter 2017/18 in 36 countries participating in the COLOSS survey, including effects of forage sources. *Journal of Apicultural Research*. 2019 Vol. 58 No 4. P. 479–485. <https://doi.org/10.1080/00218839.2019.1615661>
21. Gray, A., Adjlane, N., Arab, A., Ballis, A., Brusbardis, V., Charrière, J. D. 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. URL: <https://doi.org/10.1080/00218839.2020.1797272>
22. Федоряк М. М., Тимочко Л. І., Кульманов О. М., Руденко С. С. та ін. Втрати колоній медоносних бджіл (*Apis mellifera* L.) в Україні за результатами зимівлі 2016-2017 рр. в рамках міжнародного моніторингу. *Науковий вісник Чернівецького університету. Біологія (Біологічні системи)*. 2018. Т. 11, вип. 1. С.37–44. URL: <https://doi.org/10.31861/biosystems2018.01.037>
23. Результати щорічного моніторингу втрат бджолиних колоній в Україні: зимівля 2017-2018 рр. / Федоряк М. М. та ін. *Науковий вісник Чернівецького університету. Біологія (Біологічні системи)*. 2019. Т.11, вип.1. С. 60–70. URL: <https://doi.org/10.31861/biosystems2019.01.060>
24. Про затвердження Інструкції щодо попередження та ліквідації хвороб і отруєнь бджіл. Наказ Головного державного інспектора ветеринарної медицини України. Наказ, Інструкція від 30.01.2001 № 9. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0131-01#Text> (дата звернення: 03.10.2020).

25. Реєстр ветеринарних препаратів, кормових добавок, преміксів та готових кормів. URL: <https://data.gov.ua/dataset/8f3e00b2-16e8-4b30-af7d-b9212837b0a6> (дата звернення: 03.10.2020).
26. Коваленко В. Л., Романенко В. Л. Ветеринарні препарати для профілактики та лікування інфекційних хвороб бджіл. *Бджільництво України*. 2015. Вип. 1. С. 41–46.

References

1. Smith, K.M., Loh, E.H., Rostal, M.K., Zambrana-Torrel, C.M., Mendiola, L. & Daszak, P. (2013). Pathogens, pests, and economics: drivers of honey bee colony declines and losses. *EcoHealth*, 10(4), 434–445. <https://doi.org/10.1007/s10393-013-0870-2>
2. Locke, B. (2016). Natural Varroa mite-surviving *Apis mellifera* honeybee populations. *Apidologie*, 47(3), 467–482. <https://doi.org/10.1007/s13592-015-0412-8>
3. Steinhauer, N., Kulhanek, K., Antúnez, K., Human, H., Chantawannakul, P. & Chauzat, M. P. (2018). Drivers of colony losses. *Current opinion in insect science*, 26, 142–148. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2018.02.004>
4. Van Der Zee, R., Gray, A., Pisa, L., & De Rijk, T. (2015). An observational study of honey bee colony winter losses and their association with *Varroa destructor*, neonicotinoids and other risk factors. *PloS one*, 10(7), e0131611. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131611>
5. Efimenko, T.M., Galatyuk, O.E., Kovalenko L.M. (2017). A new way to use organic acids to kill *Varroa* mites. *Apiary*, (11), 15–17. (in Ukrainian).
6. Sadovnikova, E.F., Gisko, V.N. & Pankiv, E.M. (2019). Varroosis of bees: recommendations. Vitebsk: VGAVM. (in Russian).
7. Tlak Gajger, I., Svečnjak, L., Bubalo, D. & Žorac, T. (2020). Control of *Varroa destructor* Mite Infestations at Experimental Apiaries Situated in Croatia. *Diversity*, 12(1), 12. <https://doi.org/10.3390/d12010012>
8. Gregorc, A. & Sampson, B. (2019). Diagnosis of Varroa Mite (*Varroa destructor*) and Sustainable Control in Honey Bee (*Apis mellifera*) Colonies—A Review. *Diversity*, 11(12), 243. <https://doi.org/10.3390/d11120243>
9. Rinkevich, F.D. (2020). Detection of amitraz resistance and reduced treatment efficacy in the Varroa Mite, *Varroa destructor*, within commercial beekeeping operations. *PloS one*, 15(1), e0227264. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227264>
10. Nazarenko O.S. (2020) Varroosis of honey bees (distribution, diagnosis and treatment). PhD Thesis, Stepan Gzhyskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies, Lviv. (in Ukrainian).
11. Kamler, M., Nesvorna, M., Stara, J., Erban, T. & Hubert, J. (2016). Comparison of tau-fluvalinate, acrinathrin, and amitraz effects on susceptible and resistant populations of *Varroa destructor* in a vial test. *Experimental and Applied Acarology*, 69(1), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s10493-016-0023-8>
12. González-Cabrera, J., Bumann, H., Rodríguez-Vargas, S., Kennedy, P.J., Krieger, K., Altreuther, G., Hertel, A., Hertlein, G., Nauen, R. & Williamson, M.S. (2018). A single mutation is driving resistance to pyrethroids in European populations of the parasitic mite, *Varroa destructor*. *Journal of Pest Science*, 91(3), 1137–1144. <https://doi.org/10.1007/s10340-018-0968-y>
13. Stara, J., Pekar, S., Nesvorna, M., Kamler, M., Doskocil, I. & Hubert, J. (2019). Spatio-temporal dynamics of *Varroa destructor* resistance to tau-fluvalinate in Czechia, associated with L925V sodium channel point mutation. *Pest management science*, 75(5), 1287–1294. <https://doi.org/10.1002/ps.5242>
14. Sanin, Yu.K. (2017). The current state of the problem of controlling varroosis of bees. *Energy and Automation*, (2), 146–152. (in Ukrainian).
15. Evstafieva, V.O. & Nazarenko, O.S. (2020). Economic substantiation of acaricidal products use for controlling varroosis of honey bees. *Scientific and practical conference of the academic staff of Poltava State Agrarian Academy*, April 22–23, 2020, 357–358. (in Ukrainian).
16. Kaipkulov, R.N. (2017). Production of medicinal products for honey bees in the countries of near and far abroad. *One World - One Health: VII International Veterinary Congress*. (April 19-21, 2017, Ufa). Ufa: Congress Hall. 2017. Retrieved September 12, 2020 from <http://zhukov-vet.ru/stati/vii-mezhdunarodnyij-veterinarnyj-kongress-ufa-2017/%C2%ABbolezni-pchel%C2%BB.html> (in Russian).
17. Kisil, D.O. & Kisil, D.A. (2018). Determination of veterinary and sanitary assessment of honey and its level of toxicity after treatment with the "Apichels" product against bee varroosis and comparative assessment of its safety in comparison with other veterinary products. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. Veterinary Medicine*, 11 (43), 66–70. (in Ukrainian).
18. Zikic, B., Aleksic, N., Ristanic, M., Glavinic, U., Vejnovic, B., Krnjaic, I. & Stanimirovic, Z. (2020). Anti-Varroa Efficiency of Coumaphos and Its Influence on Oxidative Stress and Survival of Honey Bees. *Acta Veterinaria*, 70(3), 355–373. <https://doi.org/10.2478/acve-2020-0027>
19. 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., Vejsnæs, F., Wöhl, S., Zammit-Mangion, M. & Danihlík, J. (2018) Multi-country loss rates of honey bee colonies during winter 2016/17 from the COLOSS survey. *Journal of Apicultural Research*, 57 (3), 452–457. <https://doi.org/10.1080/00218839.2018.1460911>
20. Gray, A., Brodschneider, R., Adjlane N., Ballis, A., Brusbardis, V., Charrière, J.-D.I., Chlebo, R., Coffey, M. F., Cornelissen, B., Amaro da Costa, C., Csáki, T., Dahle, B., Danihlík, J., Dražić, M. M., Evans, G., Fedoriak, M., Forsythe, I., de Graaf, D., Gregorc, A., Johannesen, J., Kauko, L., Kristiansen, P., Martikkala, M., Martín-Hernández, R., Medina-Flores, C.A., Mutinelli, F., Patalano, S., Petrov, P., Raudmets, A., Ryzhikov, V. A., Simon-Delso, N., Stevanovic, J., Topolska, G., Uzunov, A., Vejsnæs, F., Williams, A., Zammit-Mangion, M. & Soroker, V. (2019). Loss rates of honey bee colonies during winter 2017/18 in 36 countries participating in the COLOSS survey, including effects of forage sources, *Journal of Apicultural Research*, 58 (4), 479–485. <https://doi.org/10.1080/00218839.2019.1615661>
21. Gray, A., Adjlane, N., Arab, A., Ballis, A., Brusbardis, V., Charrière, J.D. Chlebo, R., Coffey, M. F., Cornelissen, B., Amaro da Costa C., Dahle, B., Danihlík, J., Dražić, M. M., Evans, G., Fedoriak, M., Forsythe, I., Gajda, A., de Graaf, D., 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., Vejsnæs, 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. <https://doi.org/10.1080/00218839.2020.1797272>
22. 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. *Scientific Bulletin of Chernivtsi University Biological Systems*, 10 (1), 37–46. <https://doi.org/10.31861/biosystems2018.01.037> (in Ukrainian).
23. 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. (2019). Results of annual honey bee colony losses survey in Ukraine: winter 2017-2018. *Scientific Herald of Chernivtsi University. Biology (Biological Systems)*, 11 (1), 60-70. <https://doi.org/10.31861/biosystems2019.01.060> (in Ukrainian).
24. On adoption of the Instruction on prevention and elimination of diseases and poisonings of bees. Order of the Chief State Inspector of Veterinary Medicine of Ukraine. Order, Instruction dated 30.01.2001 № 9. Retrieved October 3, 2020, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0131-01#Text> (in Ukrainian).
25. Register of veterinary products, feed additives, premixes and prepared feeds. Retrieved October 3, 2020, from <https://data.gov.ua/dataset/8f3e00b2-16e8-4b30-af7d-b9212837b0a6>
26. Kovalenko, V.L. & Romanenko, L.I. (2015). Veterinary products for the prevention and treatment of infectious diseases of bees. *Beekeeping of Ukraine*, (1), 41–46. (in Ukrainian).

Надійшла: 04.10.2020

Прийнята: 20.10.2020

УДК (UDC): 66.084+541.182; 628.1; 658.265

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-23-10>

І. З. КОВАЛЬ, канд. техн. наук, доц.
Національний університет «Львівська політехніка»
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна

e-mail: iry nazk@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8154-4154>

ВПЛИВ КОНЦЕНТРАЦІЇ АЕРОБНИХ БАКТЕРІЙ НА ПРОЦЕС ЇХ ЖИТТЄЗДАТНОСТІ В ПРИСУТНОСТІ КИСНЮ

Мета. Дослідити життєздатність аеробних мікроорганізмів в атмосфері кисню з різним їх вихідним вмістом у водному середовищі. Порівняти вплив газу на різну концентрацію бактерій в одиниці об'єму води.

Методи. Досліджуваними мікроорганізмами слугували аеробні бактерії роду *Bacillus cereus*. Модельні водні середовища створені на основі дистильованої деаерованої води при додаванні бактерій конкретного виду. Для досліджень використовувався кисень, який барботували у мікробну воду впродовж всього процесу зі швидкістю 0,2 см³/с. Тривалість дослідження становила 2 години, впродовж якого загальна витрата газу відповідала 1,4 дм³. Число мікроорганізмів (ЧМ) до і після експериментів визначали шляхом підрахунку колоній, які виростили на чашках Петрі.

Результати. Виявлено двохстадійний процес впливу кисню на аеробні бактерії – нагромадження та зменшення їх кількості в одиниці об'єму води в ході експериментів. На першій стадії процесу спостерігалось збільшення ЧМ тривалістю 1800-3600 с з подальшим їх зменшенням (II стадія). При збільшенні мікробного навантаження у воді з 10² до 10⁴ КУО/см³ тривалість процесу нагромадження бактерій зменшилась вдвічі. Досліджено, що при низькій концентрації бактерій у воді відбувається активне розмноження бактеріальних клітин, а при високій – активне їх зменшення, що пояснюється відмиранням клітин в умовах постійної подачі кисню встановленої швидкості.

Висновки. Пояснено вплив кисню на зміну чисельності аеробних мікроорганізмів у водному середовищі. Досліджено, що дія кисню на бактерії у воді поділяє процес їх життєздатності на дві стадії: нагромадження (I стадія) та зменшення їх кількості (II стадія). Показано, що тривалість процесу нагромадження бактерій в атмосфері кисню залежить від вихідної їх кількості у воді, а саме: із збільшенням вихідного ЧМ в одиниці об'єму води тривалість стадії нагромадження мікроорганізмів суттєво зменшується.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: аеробні бактерії, *Bacillus cereus*, кисень, вода

Koval I. Z.

Lviv Polytechnic National University, 12, S. Bandery, Str., Lviv, 79013, Ukraine

INFLUENCE OF AEROBIC BACTERIA CONCENTRATION ON THE PROCESS OF ITS SURVIVAL IN THE PRESENCE OF OXYGEN

Purpose of the study is to study the viability of aerobic microorganisms in an oxygen atmosphere with different initial content in the aquatic medium. Compare the effect of gas on different concentrations of bacteria per unit volume of the water.

Methods. Aerobic bacteria of the genus *Bacillus cereus* bacteria type were the studied microorganisms. Model aqueous media were created on the basis of distilled deaerated water with the addition of bacteria of a particular type. Oxygen was bubbled into the microbial water throughout the process at a rate of 0.2 cm³/s. The duration of the study was 2 hours, during which the total gas consumption corresponded to 1.4 dm³. The number of microorganisms (NM) before and after the experiments was determined by counting the colonies that grew on the Petri dishes.

Results. A two-stage process of oxygen exposure to aerobic bacteria was detected - accumulation and reduction of its number per unit volume of water during all experiments. At the first stage of the process, there was an increase of NM during 1800-3600 s with its subsequent decrease (II stage). With an increase in the microbial load in the water from 10² to 10⁴ CFU/cm³, the duration of the process of bacterial accumulation was

© Коваль І. З., 2020



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/).

decreased in two times. An active reproduction of bacterial cells was investigated at the low concentration of bacteria in the water, and its active reduction - at the high concentration that is explained by cells destruction under conditions of constant supply of oxygen of the established rate.

Conclusions. The oxygen influence on the change of the number of aerobic microorganisms in the aquatic medium is explained. It is investigated that the oxygen action on bacteria in the water divides the process of its viability into two stages: accumulation (I stage) and reduction of its number (II stage). It is shown that the duration of the process of bacteria accumulation in the oxygen atmosphere depends on its initial amount in the water, namely with increasing of the initial NM per unit volume of the water, the duration of the stage of microorganisms accumulation decreases significantly.

KEY WORDS: aerobic bacteria, *Bacillus cereus*, oxygen, water

Коваль И. З.

Национальный университет "Львовская политехника"

ул. С. Бандеры, 12, г. Львов, 79013, Украина

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ АЭРОБНЫХ БАКТЕРИЙ НА ПРОЦЕСС ИХ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ В ПРИСУТСТВИИ КИСЛОРОДА

Цель. Исследовать жизнеспособность аэробных микроорганизмов при различной их концентрации в воде в условиях подачи кислорода.

Методы. Модельные водные среды были созданы на основе дистиллированной деаэрированной воды при добавлении исследуемых бактерий рода *Bacillus cereus*. Для исследований был использован кислород, который в микробную воду барботировали на протяжении всего процесса продолжительностью 2 часа со скоростью 0,2 см³/с с общим расходом газа 1,4 дм³. Число микроорганизмов (ЧМ) до и после экспериментов определялось путем подсчета колоний, выросших на чашках Петри.

Результаты. Во время воздействия кислорода на аэробные бактерии выявлены их накопления продолжительностью 1800-3600 с (I стадия) и дальнейшее уменьшение их количества (II стадия). При увеличении микробной нагрузки в воде с 10² до 10⁴ КОЕ/см³ продолжительность I стадии процесса уменьшилась вдвое. При низкой концентрации бактерий в воде происходит активное их размножение, а при высокой - активное уменьшения количества клеток, что объясняется отмиранием бактерий в условиях постоянной подачи кислорода установленной скорости.

Выводы. Объяснено влияние кислорода на изменение численности аэробных микроорганизмов в водной среде. Доказано, что действие кислорода на бактерии в воде разделяет процесс их жизнеспособности на две стадии: накопление и уменьшение их количества. Показано, что длительность процесса накопления бактерий в атмосфере кислорода зависит от исходного их количества в воде.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: аэробные бактерии, *Bacillus cereus*, кислород, вода

Вступ

У природних та стічних водах, окрім мінеральних та органічних речовин містяться забруднення біологічного характеру [1, 2]. У воді можуть знаходитись різні мікроорганізми (МО), а саме: бактерії, гриби, дріжджі, водорості, інфузорії тощо [3]. Збудники захворювань потрапляють у водойми з побутовими і виробничими стічними водами, без попереднього очищення і знезараження. Підземні води забруднюються при просочуванні стічних вод у ґрунтові води. Патогенні (хвороботворні) МО можуть бути причиною інфекційних захворювань людини (дизентерія, холера, черевний тиф, поліомієліт тощо). Тому біологічний та бактеріологічний показники є досить важливими при оцінці якості води. Для очищення води застосовують різні фізичні [4-7] та хімічні методи її обробки [8-11]. Технології очистки забруднених вод, які суттєво не зміню-

валися впродовж десятиліть, вносять свій вклад в проблему екобезпеки життєдіяльності і здоров'я людини. Тому, на сьогодні актуальними є пошуки нових підходів, розробка нових ефективних технологій і матеріалів для контрольованого підтримування допустимого за нормативними показниками стану відкритих водойм та стічних вод, а також здійснення ряду фундаментальних досліджень в цій сфері [2, 12].

Однак, вода містить також розчинені гази, які впливають на розвиток і життєздатність водної мікрофлори. Окрім того, газоподібні речовини в природних водах є продуктами життєдіяльності бактерій. Вони виникають при перетвореннях органічних речовин, відновленні сульфатів чи інших мінеральних солей. У результаті таких процесів можуть утворюватись CH₄, H₂, H₂S, CO₂, N₂ тощо [13]. Тому вагомим завданням

сьогодення в технології водоочищення є дослідження дії газів на ріст і розвиток різних МО у водному середовищі, оскільки їх вплив на мікрооб'єкти є маловивченим на даний час.

Вплив вуглекислого газу на життєздатність МО вивчено нами в [14], де було досліджено вплив тиску газу в мікробульбашці як найбільш ймовірної причини загибелі клітин. Для вивчення цього процесу використовували вуглекислий газ як найбільш розчинний у воді серед досліджуваних з відомою залежністю розчинності CO₂ у водному середовищі при різних його тисках в газовій фазі. Вплив повітря на суспензію дріжджів роду *Saccharomyces cerevisiae* концентрацією $3 \cdot 10^5$ кл/см³ з одночасним

застосуванням п'єзоквацевого генератора частотою 800 кГц та інтенсивністю 7 Вт/см² в роботі [15] спостерігали загибель клітин 55% після 30-секундного оброблення суспензії, після 2 хв – близько 77%, після 10 хв – 90%. Проте, при барботуванні водню через суспензію в аналогічній умові експерименту виявлено виживання клітин *Sacch. cerevisiae*.

Однак впливу самого кисню на життєдіяльність МО в літературі не знайдено. Тому доцільно вивчити вплив цього газу на життєздатність мікробів, розширюючи дослідження при використанні різної чисельності бактеріальних клітин в одиниці об'єму водного середовища.

Методика дослідження

Для досліджень процесу зміни числа мікроорганізмів (ЧМ) в одиниці об'єму води в присутності кисню готували водні середовища при додаванні до дистильованої деаерованої води мікробів конкретного виду. Тест-мікроорганізмами були аеробні паличкоподібні бактерії роду *Bacillus cereus*, як домінуючий вид серед МО природних вод різних населених пунктів Львівської області [16]. Свіжоприготовлену мікробну воду заливали в скляний реактор, який впродовж всієї тривалості процесу (2 год) барботувався газом. Досліджуваним газом слугував кисень. Загальна витрата барботованого газу становила 1,4 дм³, який подавали зі швидкістю 0,2 см³/с в досліджуваний об'єм води (75 см³). Об'єм досліджуваної дисперсії в скляному реакторі

протягом всього процесу охолоджувався протічною водою. Температура мікробної водної системи становила $T = 288 \pm 1$ К.

Вплив газу на перебіг процесу життєдіяльності МО вивчали при різних концентраціях мікробів: при низькій (ЧМ₀₁ = $2,7 \cdot 10^2$ та ЧМ₀₂ = $5 \cdot 10^2$ КУО/см³) та високій (ЧМ₀ = $7 \cdot 10^4$ КУО/см³) концентраціях МО в одиниці об'єму води, які відрізнялись на два порядки.

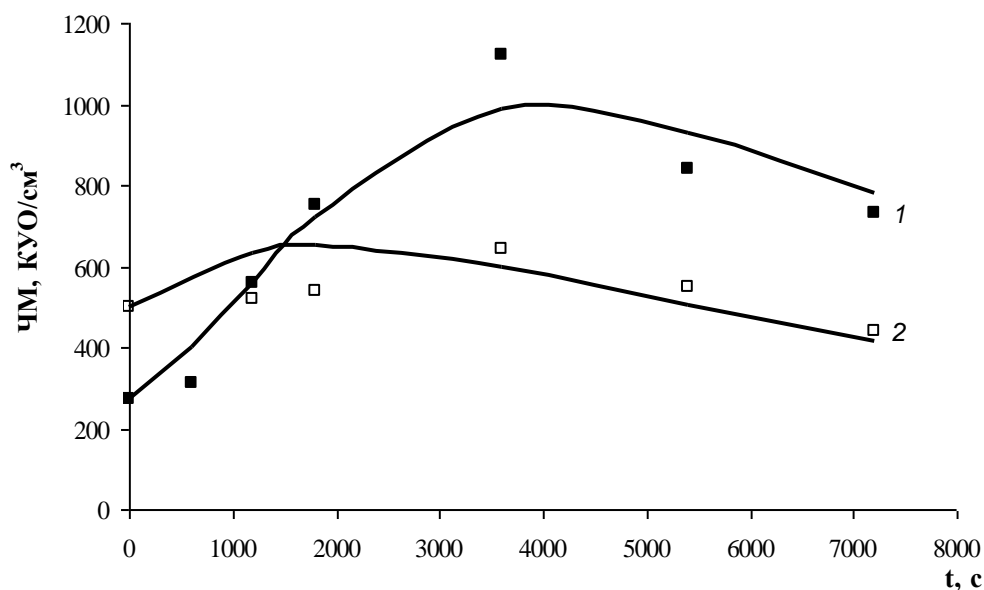
ЧМ визначали за кількістю колоній на поживному середовищі в чашці Петрі і виражалось в колоній-утворюючих одиницях (КУО). Поживним середовищем для бактерій є м'ясо-пептонний агар. Методику кількісного визначення МО у воді детально описано в [17].

Результати досліджень

Зміна чисельності бактерій роду *Bacillus* від тривалості барботування кисню через мікробну водну систему з різним вихідним ЧМ представлено на рис. 1 та 2. В усіх випадках спостерігаємо нагромадження МО на початковому етапі (I стадія) процесу з повільним зменшенням чисельності клітин на другій стадії.

Форми кривих зміни ЧМ при барботуванні кисню через систему з різним ЧМ₀ мають схожий характер, незалежно від вихідної концентрації бактеріальних клітин у воді, але відмінність полягає в тривалості стадії нагромадження клітин. Перша стадія дії кисню на мікробну систему веде до їх

розмноження, що пов'язано зі споживанням кисню аеробними клітинами досліджуваних МО. Очевидно кисень слугував поживними речовинами на даному етапі процесу (I стадія), необхідних для розмноження та росту МО. Найбільш тривале нагромадження клітин в часі виявлено під час барботування кисню тривалістю 3600 с при низьких концентраціях бактерій у вихідній воді (рис. 1, крива 1 та 2). Це, очевидно, пов'язано з достатнім насичення води киснем зі швидкістю його барботування 0,2 см³/с для мікробного навантаження води в межах 10^2 КУО/см³. У випадку високої концентрації бактерій у вихідній воді (рис. 2) максима-

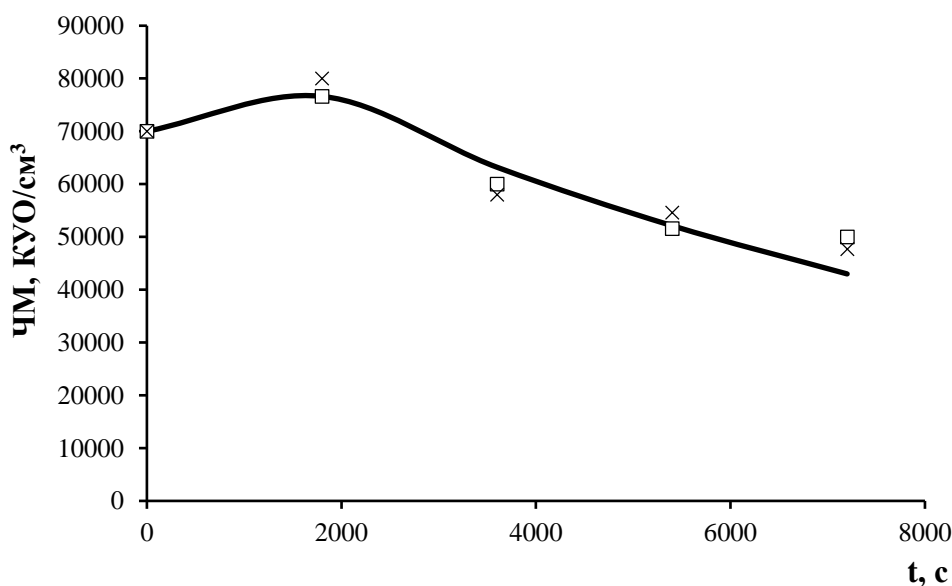


Експериментальні дані представлені точками. Вихідні дані:

$ЧМ_{01} = 2,7 \cdot 10^2$ КУО/см³ (1); $ЧМ_{02} = 5 \cdot 10^2$ КУО/см³ (2).

Умови процесу: $T = 288 \pm 1$ К.

Рис. 1 – Залежність чисельності бактерій *Vacillus* від тривалості барботування кисню через систему з низьким $ЧМ_0$.



Експериментальні дані представлені точками. Вихідні дані: $ЧМ_0 = 7 \cdot 10^4$ КУО/см³.

Умови процесу: $T = 288 \pm 1$ К.

Рис. 2 – Залежність чисельності бактерій *Vacillus* від тривалості барботування кисню через систему з високим $ЧМ_0$.

льне їх нагромадження виявлено на 1800 с процесу. Таким чином, тривалість стадії нагромадження клітин зменшується із збільшення мікробного навантаження у воді.

Збільшення $ЧМ_0$ з 10^2 до 10^4 КУО/см³ призвело до зменшення тривалості I стадії з 3600 до 1800 с. Отже, при збільшенні мікробної кількості у вихідній воді на два по-

рядки тривалість нагромадження МО суттєво зменшилась (вдвічі), що вказує на недостатність концентрації кисню для активного їх розмноження в умовах високого мікробного забруднення води.

Як бачимо за графічним матеріалом, другі стадії всіх процесів описуються спадними кривими, що вказує на руйнування бактеріальних клітин при тривалому і ста-

більшому барботуванні кисню з однаковою швидкістю подачі його у воду.

Отже, при постійній подачі кисню через воду з низьким мікробним забрудненням активніше перебігає процес нагромадження клітин, порівняно з їх відмиранням, а при збільшенні мікробного забруднення до двох порядків активніше перебігає процес відмирання клітин.

Висновки

Показано вплив концентрації бактеріальних клітин на процес їх життєздатності в умовах барботування кисню. Експериментально виявлено, що дія кисню на аероби веде до збільшення їх чисельності у воді на початку процесу, однак тривале і постійне барбо-

тування кисню через бактеріальну водну систему зі швидкістю 0,2 см³/с веде до їх відмирання. Таким чином, здійснені дослідження дозволили виявити та описати процеси нагромадження та зменшення у воді мікробного числа за умов доступу кисню.

Конфлікт інтересів

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

Література

1. Блажко А. П. Гідрохімічний режим та екологічний стан поверхневих вод в басейні річки Когильник Одеської області. *Вісник Одеського національного морського університету*. 2018. Т. 54. №1. С. 106-120.
2. Кравченко М. В. Фізико-хімічний аналіз природної питної води різних джерел водопостачання. *Екологічна безпека та природокористування*. 2015. Т. 19. № 3. С. 52-60. URL: <http://es-journal.in.ua/issue/viewIssue/9691/4237>
3. Ashbolt N. J. Microbial contamination of drinking water and human health from community water systems. *Curr. Environ. Health Rep.* 2015. Vol. 2. No 1. P. 95-106. URL: <https://doi.org/10.1007/s40572-014-0037-5>
4. 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. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.04.017>
5. Park, J., Son, Y., Lee W. H. Variation of efficiencies and limits of ultrasonication for practical algal bloom control in fields. *Ultrasonics Sonochem.*, 2019. Vol. 55. P. 8-17. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.03.007>
6. Dirisu G. B., Okonkwo U. C., Okokpuije 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. URL: <https://doi.org/10.12911/22998993/93978>
7. Marois-Fiset J.-T., Carabin A., Lavoie A. and Dorea C. C. Effects of temperature and ph on reduction of bacteria in a point-of-use drinking water treatment product for emergency relief. *Appl Environ Microbiol.* 2013. Vol. 79. No. 6. P. 2107-2109. URL: <https://doi.org/10.1128/AEM.03696-12>
8. Іванченко Л. В., Кожухар В. Я., Брем В. В. Хімія і технологія води : навч. посіб. Одеса : Екологія, 2017. 208 с.
9. Shin G.-A., Sobsey M. D. Inactivation of norovirus by chlorine disinfection of water. *Water Research*. 2008. Vol. 42. No. 17. P. 4562-4568. URL: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.08.001>
10. Mohsen I. H., Mohsen A. H., Zaidan H. K. Health effects of chlorinated water: a review article. *Pac. J. Biotechnol.* 2019. Vol. 16. No. 3. P. 163-167. URL: <http://doi.org/10.34016/pjbt.2019.16.3.24>
11. 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. URL: [10.1515/revce-2016-0008](https://doi.org/10.1515/revce-2016-0008)
12. Андронов В. А., Макаров Є. О., Данченко Ю. М., Обіженко Т. М. Дослідження закономірностей формування та хімічного складу стічних вод молокопереробного підприємства. *Науково-технічний журнал «Техногенно-екологічна безпека»*. 2020. Т. 7. № 1. С. 13-21.
13. Мягченко О. П. Основи екології : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2010. 312 с.

14. Koval I. Z., Kislenco V. N., Starchevskii V. L., Shevchuk L. I. The effect of carbon dioxide on the viability of bacteria of Bacillus and Diplococcus genera. *Journal of Water Chemistry and Technology*. 2012. Vol. 34. No. 2. P. 112-116. URL: <https://doi.org/10.3103/S1063455X12020075>
15. Dai Ch., Xiong F., He R., Zhang W., Ma H. 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. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.11.035>
16. 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. 264-271. URL: <https://doi.org/10.23939/chcht14.02.264>
17. Koval I. 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. URL: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-22-07>

References

1. Blazhko, A. P. (2018). Hydrochemical regime and ecological status of surface waters in the Kohylnyk river basin of Odesa region. *Visnyk of Odessa Maritime National University*, 54(1), 106-120. (In Ukrainian)
2. 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. Retrieved from <http://es-journal.in.ua/issue/viewIssue/9691/4237> (In Ukrainian)
3. Ashbolt, N. J. (2015). Microbial contamination of drinking water and human health from community water systems. *Curr. Environ. Health Rep.*, 2(1), 95-106. <https://doi.org/10.1007/s40572-014-0037-5>
4. 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>
5. Park, J., Son, Y. & Lee, W. H. (2019). Variation of efficiencies and limits of ultrasonication for practical algal bloom control in fields. *Ultrasonics Sonochem.*, 55, 8-17. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.03.007>
6. 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>
7. Marois-Fiset, J.-T., Carabin, A., Lavoie, A. & Dorea, C. C. (2013). Effects of temperature and ph on reduction of bacteria in a point-of-use drinking water treatment product for emergency relief. *Appl Environ Microbiol.*, 79(6), 2107-2109. <https://doi.org/10.1128/AEM.03696-12>
8. Ivanchenko, L. V., Kozhukhar, V. YA. & Brem, V. V. (2017). Chemistry and water technology. Odessa : Ecology. (In Ukrainian)
9. Shin, G.-A. & Sobsey, M. D. (2008). Inactivation of norovirus by chlorine disinfection of water. *Water Research.*, 42(17), 4562-4568. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.08.001>
10. Mohsen, I. H., Mohsen, A. H. & Zaidan, H. K. (2019). Health effects of chlorinated water: a review article. *Pac. J. Biotechnol.*, 16(3), 163-167. <http://doi.org/10.34016/pjbt.2019.16.3.24>
11. 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>
12. Andronov, V., Makarov, Ye., Danchenko, Yu. & Obigenko, T. (2020). Research of the regularities of forming and chemical composition of sewage water of a dairy processing company. *Scientific and technical journal «Technogenic and Ecological Safety»*, 7(1), 13-21. (In Ukrainian)
13. Myahchenko, O. P. (2010). Fundamentals of ecology. Kyiv: Center for Educational Literature. (In Ukrainian)
14. Koval, I. Z., Kislenco, V. N., Starchevskii, V. L. & Shevchuk, L. I. (2012). The effect of carbon dioxide on the viability of bacteria of Bacillus and Diplococcus genera. *Journal of Water Chemistry and Technology*, 34(2), 112-116. <https://doi.org/10.3103/S1063455X12020075>
15. Dai, Ch., Xiong, F., He, R., Zhang, W. & Ma, H. (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>
16. Koval, I. & Starchevskyy, V. (2020). Gas nature effect on the destruction of various microorganisms under cavitation action. *Chemistry & Chemical Technology*, 14(2), 264-271. <https://doi.org/10.23939/chcht14.02.264>
17. 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, 75-82. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-22-07> (In Ukrainian)

Надійшла: 24.09.2020

Прийнята: 20.10.2020

УДК (UDC): 595.44-542 (477.85+477.87)

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-23-11>

М. М. ФЕДОРЯК¹, д-р біол. наук, проф., **Л. І. ТИМОЧКО¹**, канд. біол. наук,
О. О. ШКРОБАНЕЦЬ¹, **А. В. ЖУК¹**, канд. біол. наук, **О. Ф. ДЕЛІ²**, канд. біол. наук,
С. С. ПОДОБІВСЬКИЙ³, канд. біол. наук, доц., **В. Г. МИКОЛАЙЧУК⁴**, канд. біол. наук, доц.,
О. О. КАЛИНИЧЕНКО⁵, канд. с.-г. наук, доц., **У. В. ЛЕГЕТА¹**, канд. біол. наук, доц.,
О. Д. ЗАРОЧЕНЦЕВА¹, канд. біол. наук

¹Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
вул. Коцюбинського, 2, м. Чернівці, 58012, Україна

²Одеський національний університет імені І.І. Мечникова
вул. Дворянська, 2, м. Одеса, 65082, Україна

³Тернопільський національний медичний університет імені І.Я. Горбачевського
майдан Волі, 1, м. Тернопіль, 46001, Україна

⁴Миколаївський національний аграрний університет
вул. Георгія Гонгадзе, 9, м. Миколаїв, 54020, Україна

⁵Дніпровський державний аграрно-економічний університет
вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, 49600, Україна

e-mail: m.fedorjak@chnu.edu.ua

l.tymochko@chnu.edu.ua

shkrobanets.oleksandr@chnu.edu.ua

a.zhuk@chnu.edu.ua

delijka@ukr.net

podobivskiy@tdmu.edu.ua

mikolaychuk7@gmail.com

kalynychenko.o.o@dsau.dp.ua

u.legeta@chnu.edu.ua

o.zarochentseva@chnu.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6200-1012>

<https://orcid.org/0000-0001-5200-8141>

<https://orcid.org/0000-0002-0405-8037>

<https://orcid.org/0000-0003-2301-8759>

<https://orcid.org/0000-0002-6667-1478>

<https://orcid.org/0000-0003-0110-6539>

<https://orcid.org/0000-0002-5391-0281>

<https://orcid.org/0000-0001-7121-7344>

РЕЗУЛЬТАТИ СТАНДАРТИЗОВАНОГО ОПИТУВАННЯ БДЖОЛЯРІВ ЩОДО ВТРАТ КОЛОНІЙ *APIS MELLIFERA* L. В УКРАЇНІ ПІСЛЯ ЗИМІВЛІ 2018–2019 РР.

Мета. Аналіз втрат колоній медоносних бджіл (*Apis mellifera* Linnaeus, 1758) в Україні після зимівлі 2018–2019 рр. у порівнянні з попередньою зимівлею в різних фізико-географічних зонах України та на пасіках різного розміру.

Методи. Аналіз результатів опитування практикуючих бджолярів щодо результатів зимівлі бджолиних колоній 2018–2019 рр. Опитування проводили з використанням стандартизованого протоколу (анкети), розробленого міжнародною асоціацією з дослідження медоносних бджіл COLOSS. Опрацьовано протоколи від 677 респондентів із п'яти фізико-географічних зон України.

Результати. Встановлено, що загальні втрати бджолиних колоній після зимівлі 2018-2019 рр. становили 11,18 %, показник смертності – 5,95 %; через фатальні проблеми з матками втрачено 3,37 %, а через негативні природні явища – 1,86 % колоній. Загальні втрати у лісостеповій зоні та зоні мішаних лісів становили 16,2 % та 15,1 % відповідно, тоді як в Українських Карпатах – 7,2 %. Найчастішою ознакою загиблених колоній в Україні була наявність великої кількості мертвих бджіл у вулику чи перед ним (25,3 %). На малих пасіках рівень втрат становив майже 18 %, на середніх – 8,38 % та на великих – 7,6 %. 77,8 % респондентів проводили лікування бджолиних колоній від *Varroa destructor* Anderson and Trueman, 2000 у період з квітня 2018 р. по квітень 2019 р.; 16,4 % лікували свої колонії без попереднього моніторингу ступеня закліщованості. Найчастіше застосовували препарати на основі

© 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., 2020



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

флуметрину (15,1 %), амітразу в смужках (11,67 %) та обкурюванням (9,9 %), а також щавлевої кислоти – обприскування та сублимація (9,5 % та 8,4 % відповідно).

Висновки. Загальні втрати бджолиних колоній після зимівлі 2018–2019 рр. (11,18 %) залишилися на стабільному рівні відносно минулорічного показника (після зимівлі 2017–2018 рр. – 11,30 %), смертність колоній (5,95 %) та втрати через негативні природні явища (1,86 %) дещо знизилися (після зимівлі 2017–2018 рр. вони становили 6,7 % та 2,4 % відповідно), тоді як втрати через проблеми з матками (3,37 %) зросли в порівнянні з попередньою зимівлею (2,1 %). Найбільші втрати зареєстровані в лісостеповій зоні та зоні мішаних лісів, а найменші – в Українських Карпатах. Виявлено обернену залежність між розміром пасіки та рівнем втрат.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *Apis mellifera*, втрати бджолиних колоній, моніторинг, смертність, бджільництво

Fedorciak M. M.¹, Tymochko L. I.¹, Shkrobanets O. O.¹, Zhuk A. V.¹, Deli O. F.², Podobivskiy S. S.³, Mikolaychuk V. G.⁴, Kalynychenko O. O.⁵, Leheta U. V.¹, Zarochentseva O. D.¹

¹Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, 2, Kotsiubynsky Str., Chernivtsi, 58012, Ukraine

²Odessa I.I. Mechnikov National University, Dvoryanska Str., 2, Odesa, 65082, Ukraine

³I.Horbachevsky Ternopil National Medical University, Voli, Sq., 1, Ternopil, 46001, Ukraine

⁴Mykolayiv National Agrarian University, Georgy Gongadze, Str., 9, Mykolayiv, 54020, Ukraine

⁵Dnipro State Agrarian and Economic University, Serhii Efremov, Str., 25, Dnipro, 49600, Ukraine

RESULTS OF STANDARDISED BEEKEEPER SURVEY OF HONEY BEE COLONY LOSSES IN UKRAINE FOR WINTER 2018-2019

Purpose. Analysis of honey bee (*Apis mellifera* Linnaeus, 1758) colony losses in Ukraine for winter 2018–2019 in comparison with the previous year in different physiographic zones of Ukraine and at the operations of different sizes.

Methods. Survey of Ukrainian beekeepers for winter 2018–2019 using the standardised COLOSS questionnaire (International honey bee research association COLOSS). A total of 677 valid questionnaires from five physiographic zones of Ukraine were processed.

Results. The total loss rate of honey bee colonies for winter 2018–2019 in Ukraine was 11.18 %, the mortality rate was 5.95 %; the losses due to unsolvable queen problems – 3.37 %, and due to natural disasters – 1.86 %. The total losses in the forest-steppe and the mixed forest zones were 16.2 % and 15.1 %, respectively, whereas in the Ukrainian Carpathians – 7.2 %. 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 (25.3 %). The loss rate in the small operations was almost 18 %, in medium – 8.38 % and in large ones – 7.6 %. 77.8 % of respondents treated their bee colonies against *Varroa destructor* in the period from April 2018 to April 2019. 16.4 % respondents treated their colonies without prior monitoring of mite rate. The most commonly used acaricides were the veterinary medicinal products containing flumetrim (15.1 %), amitraz in strips (11.67 %) and fumigation (9.9 %), as well as oxalic acid – spraying and sublimation (9.5 % and 8.4 %, respectively).

Conclusions. The total losses of honey bee colonies for winter of 2018–2019 (11.18 %) remained stable compared to the previous year (for winter of 2017–2018: 11.30 %), the losses due to colonies death (5.95 %) and losses due to natural disasters (1.86 %) decreased slightly (for winter of 2017–2018: 6.7 % and 2.4 %, respectively), whereas losses due to unsolvable queen problems increased from 2.1 % to 3.37 %. The highest losses were observed in the forest-steppe zone and the zone of mixed forests, whereas the lowest in the Ukrainian Carpathians. The smaller beekeeping operations with at most 50 colonies suffer significantly higher losses than larger operations.

KEY WORDS: *Apis mellifera*, honey bee colony losses, monitoring, mortality, beekeeping

Федоряк М. М.¹, Тимочко Л. І.¹, Шкробанец А. А.¹, Жук А. В.¹, Дели О. Ф.², Подобивський С. С.³, Миколайчук В. Г.⁴, Калиниченко Е. А.⁵, Лєгета У. В.¹, Зароченцева О. Д.¹

¹Черновицький національний університет імені Юрія Федьковича, ул. Коцюбинського, 2, г. Черновці, 58012, Україна

²Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, ул. Дворянська, 2, г. Одеса, 65082, Україна

³Тернопільський державний медичний університет імені І. Я. Горбачевського, пл. Воли, 1, г. Тернопіль, 46001, Україна

⁴Николаевский национальный аграрный университет, ул. Георгия Гонгадзе, 9, г. Николаев, 54020, Украина

⁵Днепропетровский государственный аграрный и экономический университет, ул. Сергея Ефремова, 25, г. Днепр, 49600, Украина

РЕЗУЛЬТАТЫ СТАНДАРТИЗИРОВАННОГО ОПРОСОВ ПЧЕЛОВОДОВ О ПОТЕРЯХ КОЛОНИЙ APIS MELLIFERA L. В УКРАИНЕ ПОСЛЕ ЗИМОВКИ 2018–2019 ГГ.

Цель. Анализ потерь колоний медоносных пчел (*Apis mellifera* Linnaeus, 1758) в Украине после зимовки 2018–2019 гг. по сравнению с предыдущей зимовкой в различных физико-географических зонах Украины и на пасеках разного размера.

Методи. Аналіз результатів опроса практикуючих пасечників по результатам зимовки пчелиних колоній 2018–2019 гг. Опрос проведений з використанням стандартизованого протоколу (анкети), розробаного міжнародною асоціацією по дослідванню медоносних пчел COLOSS. Обробані протоколи от 677 респондентів з п'яти фізико-географічних зон України.

Результати. Установлено, що общі втрати пчелиних колоній після зимовки 2018–2019 гг. становили 11,18 %, показател смертності – 5,95 %; із-за нерозрешимих проблем з матками втрачено 3,37 %, а із-за негативних природних явлень – 1,86 % колоній. Общі втрати в лесостепній зоні і зоні смешаних лесов становили 16,2 % і 15,1 %, відповідно, тогдa як в Українських Карпатах – 7,2 %. Найбільш частим признаком погібших колоній в Україні було наличие большого количества мертвых пчел в улье или перед ним (25,3 %). На малых пасеках уровень потерь составил почти 18%, на средних – 8,38 % и на больших – 7,6 %. 77,8 % респондентів проводили лечение пчелиных колоній от *Varroa destructor* Anderson and Trueman, 2000 в период с апреля 2018 по апрель 2019, 16,4 % лечили свои колонии без предварительного мониторинга степени заклещенности. Чаше всего применяли препараты на основе флуметрина (15,1 %), амитраза в полосках (11,67 %) и окуриванием (9,9 %), а также щавелевой кислоты – опрыскивание и сублимация (9,5 % и 8,4 % соответственно).

Выводы. Общі втрати пчелиних колоній після зимовки 2018–2019 гг. (11,18 %) остались на стабільном уровне относительно прошлогоднего показателя (после зимовки 2017–2018 гг. – 11,30 %), смертність колоній (5,95 %) и втрати із-за негативних природних явлень (1,86 %) несколько снизились (после зимовки 2017–2018 гг. 6,7 % и 2,4 %, соответственно), тогдa как втрати із-за проблем з матками выросли с 2,1 % до 3,37 %. Найбільші втрати отмечены в лесостепной зоне и зоне смешанных лесов, а наименьшіе – в Українських Карпатах. Виявлено обратную зависимость между размером пасеки и уровнем потерь пчелиных колоній.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *Apis mellifera*, втрати колоній, моніторинг, смертність, пчеловодство

Вступ

Медоносні бджоли (*Apis mellifera* Linnaeus, 1758) – основна група комах-запилювачів рослин як у природних, так і в керованих екосистемах, яка сприяє підтриманню біорізноманіття, а також є виробником цінної продовольчої продукції [1]. Загальне економічне значення комах-запилювачів оцінюється близько 9,5 % від вартості світової сільськогосподарської продукції, що виробляється для забезпечення харчових потреб людини [2].

На жаль, втрати колоній та депопуляція бджіл стають все більш поширеними у всьому світі. У багатьох європейських країнах та США пасічники неодноразово стикалися з різкими та незрозумілими зимовими втратами бджолиних колоній, які останнім часом трапляються із зростаючою частотою та величиною [3–8]. Так, за останні 30 років відбулося стрімке збільшення кількості втрачених під час зими колоній, особливо у північній півкулі. Крах колоній медоносних бджіл може виникнути в будь-який період року, але в умовах помірного клімату кардинальним викликом для них є зима. При цьому, робочі бджоли осінньої генерації в умовах зимівлі при недоступності фуражування та припиненні відкладання розплуду повинні вижити кілька місяців порівняно з кількатижневою тривалістю життя літніх бджіл [2].

Враховуючи важливість керованих колоній медоносних бджіл, стрімкі втрати колоній залишаються в центрі уваги досліджень останніх років. Зменшення популяції бджіл спричиняє низка факторів, включаючи патогени (паразити, гриби, бактерії та віруси), зміни чи втрати екосистем та/або агрохімікати. Всі ці фактори змінюють захисні механізми бджіл, оскільки патогени, акарициди, фунгіциди, гербіциди та інші пестициди впливають на імунну систему комах, а отже, і на їхнє здоров'я. Однак, наразі пасічниками чи ветеринарними органами не визначено ані стійких підходів до контролю, ані належних надзвичайних заходів через остаточно нез'ясовані фактори, що лежать в основі великих зимових втрат. Це створює нагальну потребу до визначення причинних чинників [6].

Україна – країна із багатотисячолетньою традицією бджільництва і на сьогоднішній день є одним із лідерів із виробництва та експорту меду. Так, середньорічний обсяг продукції меду в Україні станом на 2014–2018 рр. становить 70–80 тис. тон, а експорту – 50–55 тис. тон [9]. За оцінками експертів Україна залишається 5-м світовим експортером за обсягами (після Китаю, Аргентини, Індії та Мексики) та лідером по виробництву та експорту меду серед країн Європи. При цьому, за останні 8 років обсяги

експорту меду збільшилися у 7 разів. Незважаючи на це, Україна, як і більшість країн світу, зіткнулася із гострою проблемою втрат колоній під час зимівлі [10].

Одним з основних джерел інформації про зимові втрати колоній є отримання добровільно наданих масивів даних в рамках міжнародного стандартизованого анкетування. Таке дослідження проводиться у багатьох країнах світу за координації міжнародної некомерційної асоціації з дослідження медоносних бджіл COLOSS (Prevention of honey bee COlony LOSSes) [6, 8, 11-14].

Моніторинг та спостереження виявились корисними інструментами для вирішення проблеми втрат колоній. По-перше, вони описують статус-кво здоров'я бджіл та, за умови регулярного проведення, можуть демонструвати тенденції втрат. По-друге, орієнтують на покращення здоров'я бджіл, «натякаючи» на важливі фактори

шляхом моделювання. Оскільки виникнення хвороб та втрати колоній суттєво різняться між різними країнами та кліматичними регіонами [13], необхідна повна картина поширення хвороб бджіл, щоб зрозуміти проблеми як на національному, так і на міжнародному рівні [15].

Збір даних започатковано у 2008 році, відтак опитування 2018–2019 рр. – одинадцятий рік проведення міжнародного моніторингу та п'ятий рік моніторингу на теренах України. При цьому, простори міжнародного моніторингу розширюються. Так, у 2016–2017 рр. в опитуванні прийняли участь 30 країн [13], 2017–2018 рр. – 36 країн [19], а у 2018–2019 рр. – 35 країн [20].

Мета роботи: аналіз втрат колоній медоносних бджіл (*Apis mellifera* L.) в Україні після зимівлі 2018–2019 рр. у порівнянні з попередньою зимівлею в різних фізико-географічних зонах України та на пасіках різного розміру.

Матеріали та методи досліджень

Дослідження проводили впродовж березня-червня 2019 р. Практикуючі бджолярі України надавали відповіді на запитання стандартизованого протоколу (анкети), що щорічно централізовано розробляється міжнародною асоціацією з дослідження медоносних бджіл COLOSS. Координатором моніторингу в Україні здійснено адаптивний переклад оригіналу анкети українською мовою, при цьому зміст питань та їх послідовність було строго збережено. Така уніфікація необхідна для можливості отримання співставних даних, коректного їх порівняння та окреслення певних тенденцій. Анкета включала 32 запитання, які традиційно згруповані в змістові блоки: запитання щодо кількості бджолиних колоній до та після зими та їхнього стану після зимівлі (зимою вважали період від закінчення підготовки бджолярем колоній до зими і початком наступного медозбору); про характерні ознаки загинувших колоній; запитання, що стосуються умов у колоніях, середовища навколо пасіки, особливостей догляду та медозбору, моніторингу кліща *Varroa* і лікування бджіл від вароозу тощо. Збір даних проводили співробітники та студенти кафедри екології та біомоніторингу, а також кафедри молекулярної генетики та біотехнології Чернівецького

національного університету імені Юрія Федьковича. Крім того, як і щороку, збору даних активно сприяли члени громадської організації «Асоціація виробників продукції бджільництва «Буковинський бджоляр», обласних та районних осередків Спільки пасічників України, співробітники окремих ВНЗ та науково-дослідних установ України. Респонденти заповнювали анкети письмово, в телефонному режимі та у вигляді онлайн форми, створеної на основі платформи LimeSurvey для можливості залучення до опитування всіх зацікавлених бджолярів з різних регіонів. Зазначимо, що з кожним роком зростає частка респондентів, які надають відповіді в онлайн форматі, при цьому здійснюється автоматична перевірка коректності наданих даних, спрощується та суттєво прискорюється обробка інформації. Варіативна частина анкети містила запитання, надані координаторами моніторингу в Україні: щодо застосування в районі утримання пасіки пестицидів із зазначенням культур, перелік продуктів бджільництва, які бджолярі отримують із своїх пасік, а також запитання про можливі знахідки а Україні азійського шершня (*Vespa velutina* Lepelletier, 1836) – одного з найбільш небезпечних шкідників бджіл у всьому світі, ареал якого допоки не охоплює Україну. Дане

опитування надасть можливість отримати перші відомості щодо можливого його проникнення в Україну.

Традиційно притримувалися районування згідно Національного атласу України [15]. Після зимівлі 2018–2019 рр. опитано більше 700 респондентів з усіх адміністративних областей та різних фізико-географічних зон України, за винятком Криму. Перед аналізом даних було видалено кілька протоколів, що містили неповні чи нелогічні набори даних. У результаті

моніторингу втрат після зимівлі 2018–2019 рр. отримано коректні протоколи від 677 респондентів (рис. 1) із максимальними вибірками з Чернівецької (170), Тернопільської (87) та Івано-Франківської (71) областей. Найменші вибірки отримано з Донецької (8), Херсонської (8), Сумської (8) та Запорізької (8) областей (рис. 1). Для статистичної обробки отриманих даних використовували метод довірчих інтервалів (95 % confidence interval CI) [17].

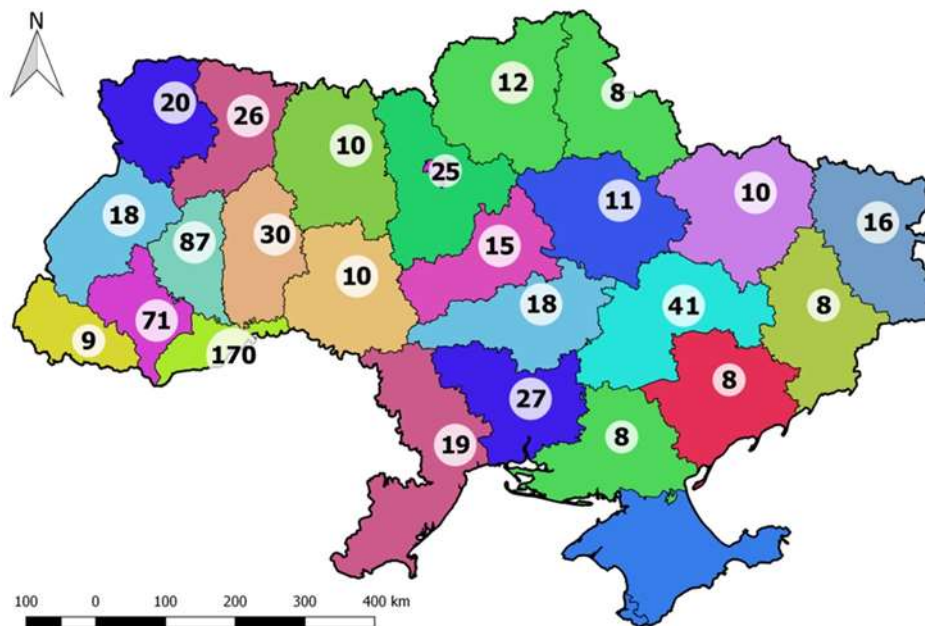


Рис. 1 – Кількісний розподіл респондентів моніторингу втрат бджолиних колоній після зимівлі 2018–2019 рр. в Україні за адміністративними областями

Результати досліджень та їх обговорення

Узагальнюючи відповіді наших респондентів встановлено, що восени 2018 року в Україні у зимівлю увійшло на загал 32 335 бджолиних колоній. За результатами зимівлі 2018–2019 рр. загальні втрати становили 11,18 % (95 % CI 9,93;12,56), що практично збігається із відповідним показником минулого року (11,3 %, 95 % CI 10,0; 12,6) (рис. 2). Традиційно показник «загальні втрати» являє собою сумарне значення рівня смертності колоній, втрат через **нерозв’язні проблеми з матками** та втрат через **негативні природні явища** (пожежі, повені, вандалізм, ведмеді, куниця, дятли, падіння дерев, задуха від снігу тощо). Зазначимо, що останній показник було включено до загальних втрат,

починаючи з 2017 р. Впродовж досліджуваної зимівлі більшу частку колоній було втрачено через їхню загибель (5,95, 95 % CI 5,13; 6,9). При чому, цей показник виявився дещо нижчим минулорічного (після зимівлі 2017–2018 рр. – 6,7 % (95 % CI 5,8; 7,7)). Кількість колоній, втрачених через **нерозв’язні проблеми з матками** (3,37, 95 % CI 2,7; 4,19), зроста порівняно із зимівлею 2017–2018 рр. (2,1 %, 95 % CI 1,6; 2,7). Через негативні природні явища під час зимівлі 2018–2019 рр. втрачено 1,86 % (95 % CI 1,45; 2,37) колоній, після зими 2017–2018 рр. – 2,4 % (95 % CI 2,0; 3,0) [18].

Оскільки територія України характеризується градієнтом фізико-кліматич-

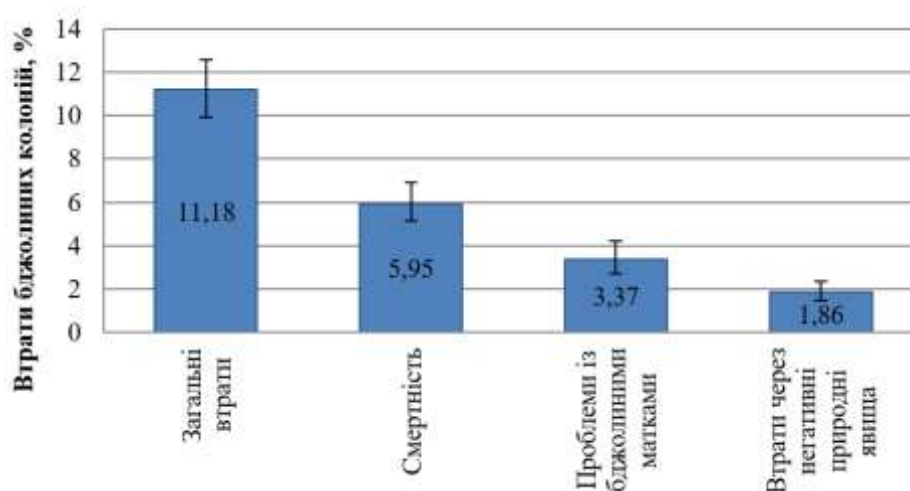


Рис. 2 – Основні показники втрат бджолиних колоній в Україні після зимівлі 2018–2019 рр.

них умов, розмаїттям видового складу рослин-медодаїв, нерівномірним антропогенним навантаженням та особливостями практики бджільництва в різних регіонах, зазначені вище показники було проаналізовано в окремих фізико-географічних зонах. Встановлено, що істотно вищі значення загальних втрат мали місце у лісостеповій зоні та зонах мішаних і широколистяних лісів (16,17 %, 15,13 %, 13,09 % відповідно) (рис. 3). Крім того, у даних фізико-географічних зонах найвищими виявилися значення смертності колоній (9,02 % 9,87 % та 6,85 % відповідно) і фатальних проблем із матками (4,63 %, 4,62 % та 3,985 % відповідно). Респонденти лісостепової зони, зони широколистяних лісів, а також степу відмітили досить значні (порівняно з іншими фізико-географічними зонами України) втрати через негативні природні явища (2,52 % 2,40 %, та 1,82 % відповідно).

Територія України, що входить до зони широколистяних лісів та лісостепу, характеризується значним різноманіттям рослинних угруповань; клімат сприяє культивуванню як деревних, так і трав'яних рослин-медодаїв з різними термінами цвітіння, що забезпечує можливість фуражування бджіл впродовж довгого часового проміжку. Проте високі втрати в даному регіоні, ймовірно, пов'язані з інтенсивним та неконтрольованим використанням пестицидів на сільсько-господарських угіддях, які займають тут значну частку земель, що, в свою чергу, зумовлює масові отруєння бджіл.

Найменші загальні втрати бджолиних

колоній традиційно відмічено в Українських Карпатах (7,2 %). Це, очевидно, пояснюється як найбільш сприятливими природними умовами, низькою щільністю колоній та меншою конкуренцією за кормові ресурси, що створюються в даному регіоні, так і мінімізованим пестицидним навантаженням. Крім Українських Карпат, про досить низький рівень втрат цюгоріч повідомили і респонденти, пасіки яких розташовані у степовій зоні України (8,96%). При цьому, більша частка втрат в обох згаданих регіонах сталася, як і в інших фізико-географічних зонах країни, саме через смертність колоній (3,83 % та 4,52 %). Варто зазначити, що в степу виявлено порівняно високий показник втрат через негативні природні явища (1,82 %).

Таким чином, за всіма аналізованими показниками максимальні втрати бджолиних колоній після зимівлі 2018–2019 рр. спостерігаються у лісостеповій зоні України. За результатами попередньої зимівлі (після 2017–2018 рр.) найвищі втрати було виявлено в степовій фізико-географічній зоні (23,50 %) [18].

З огляду на те, що переважна більшість бджолиних колоній в Україні та світі під час зимівлі гине, в анкеті запропоновано ряд запитань стосовно ознак колоній, які після зими виявилися мертвими. Узагальнені відповіді на ці запитання допоможуть відшукати ймовірні причини загибелі. Загалом, розподіл відповідей респондентів відповідав минуло-річному (рис. 4). Так, бджолярі України частіше вказували на наступні ознаки: наявність великої кількості мертвих бджіл у вулику чи перед

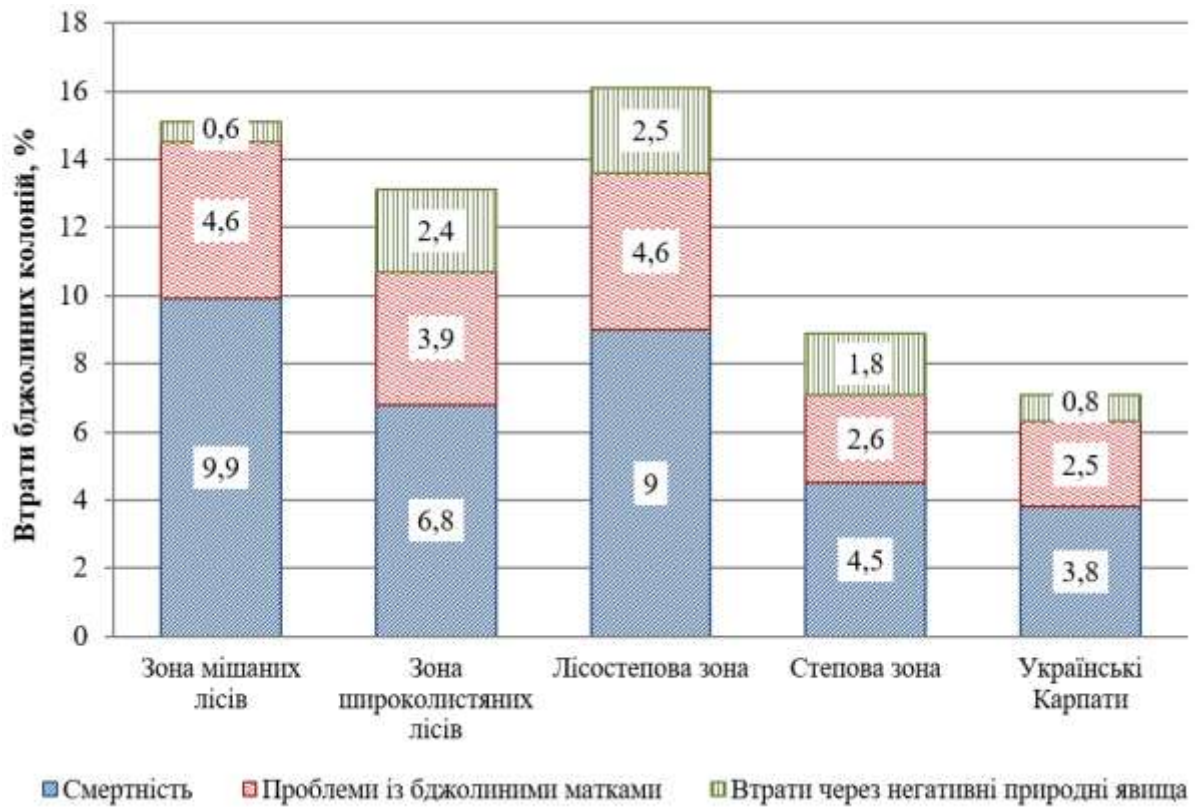


Рис. 3 – Основні показники втрат колоній *A. mellifera* після зимівлі 2018–2019 рр. в різних фізико-географічних зонах України

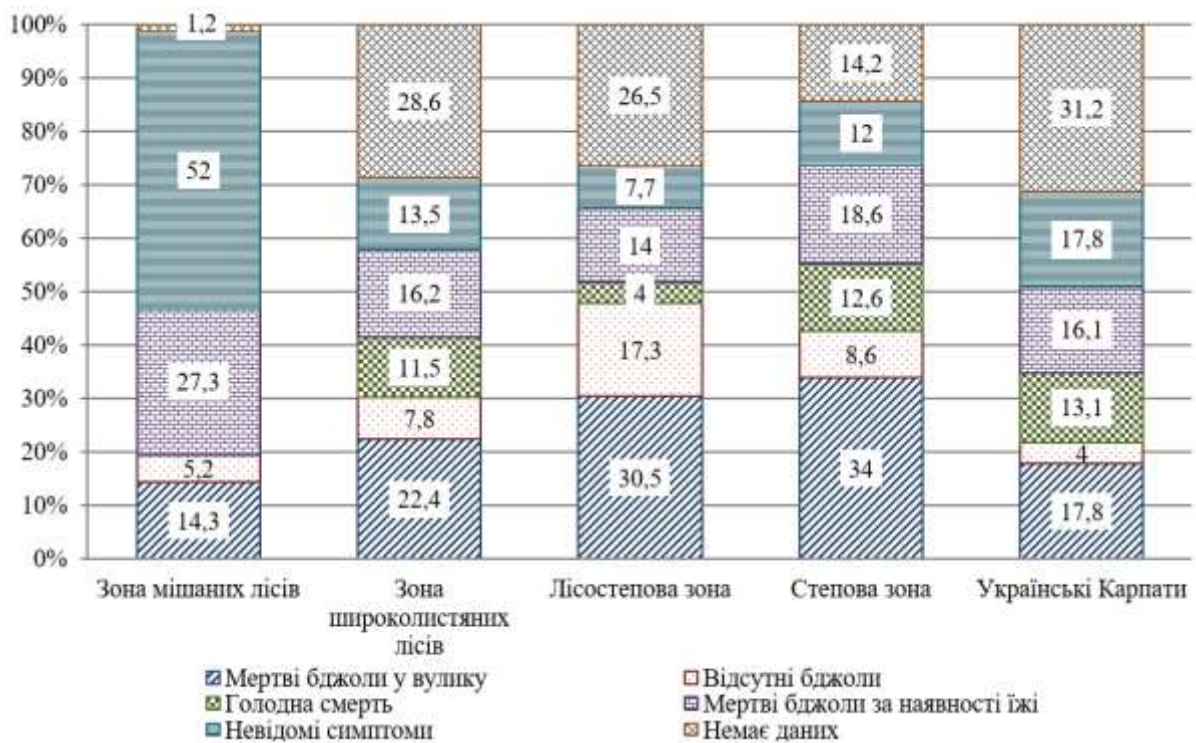


Рис. 4 – Ознаки загибелі бджолиних колоній після зимівлі 2018–2019 рр. за фізико-географічними зонами України

ним (25,3 %), наявність мертвих робочих у вулику за наявності їжі (16,6 %) та загибель бджіл із невідомими симптомами (14,1 %). Найрідше ж вказувалися випадки зниклих бджіл (9,4 %) та голодної смерті (9,8 %). 24,8 % респондентів не змогли дати відповідь на дане запитання. (16,6 %) та загибель бджіл із невідомими симптомами (14,1 %). Найрідше ж вказувалися випадки зниклих бджіл (9,4 %) та голодної смерті (9,8 %). 24,8 % респондентів не змогли дати відповідь на дане запитання.

Для детальнішої оцінки проаналізовано відповіді респондентів із різних фізико-географічних зон. Зауважимо, що в ряді випадків (14–30 %) бджолярі не володіли інформацією щодо ознак їхніх загиблих колоній. За наданими відповідями з'ясовано, що в зоні широколистяних лісів, лісостеповій та степовій зонах більша частка загиблих колоній мали багато мертвих бджіл у вулику чи перед ним (22,4 %, 30,5 % та 34,0 % відповідно), а також мертвих робочих за наявності їжі (16,2 % 14,0 % та 18,6 % відповідно). Такі явища можуть бути ознакою значного рівня вароозу або ж свідчити про наслідки отруєння пестицидами. Загибель понад по-

ловини колоній (52,0 %) у межах зони мішаних лісів супроводжувалась невідомими для бджолярів симптомами, відповідно важко припустити ймовірні фактори їхньої смертності. Бджолярі, що утримують свої пасіки в Українських Карпатах, відмічали усі запропоновані в анкеті ознаки загиблих колоній із близькою частотою (рис. 4).

Обов'язковий пункт анкети – запитання щодо оцінки проблем з матками, що виникали впродовж зимівлі 2018–2019 рр. порівняно з тими, що спостерігалися зазвичай. Незважаючи на цьогорічне зростання сумарного показника втрат через фатальні проблеми з матками, більшість респондентів України оцінили їх як «такі ж, як і зазвичай» (45,6 % – 58,3 %) (рис. 5).

Про збільшення проблем з матками під час аналізованої зимівлі порівняно з попередніми найчастіше вказували респонденти із лісостепової зони (18,9 %). Протилежна ситуація спостерігалась у зоні мішаних лісів, де значна частка бджолярів (26,9 %) зазначили зниження даного показника.

Для з'ясування доцільності оновлення маток перед зимівлею, бджолярів запитували про успішність зимівлі колоній із замі-

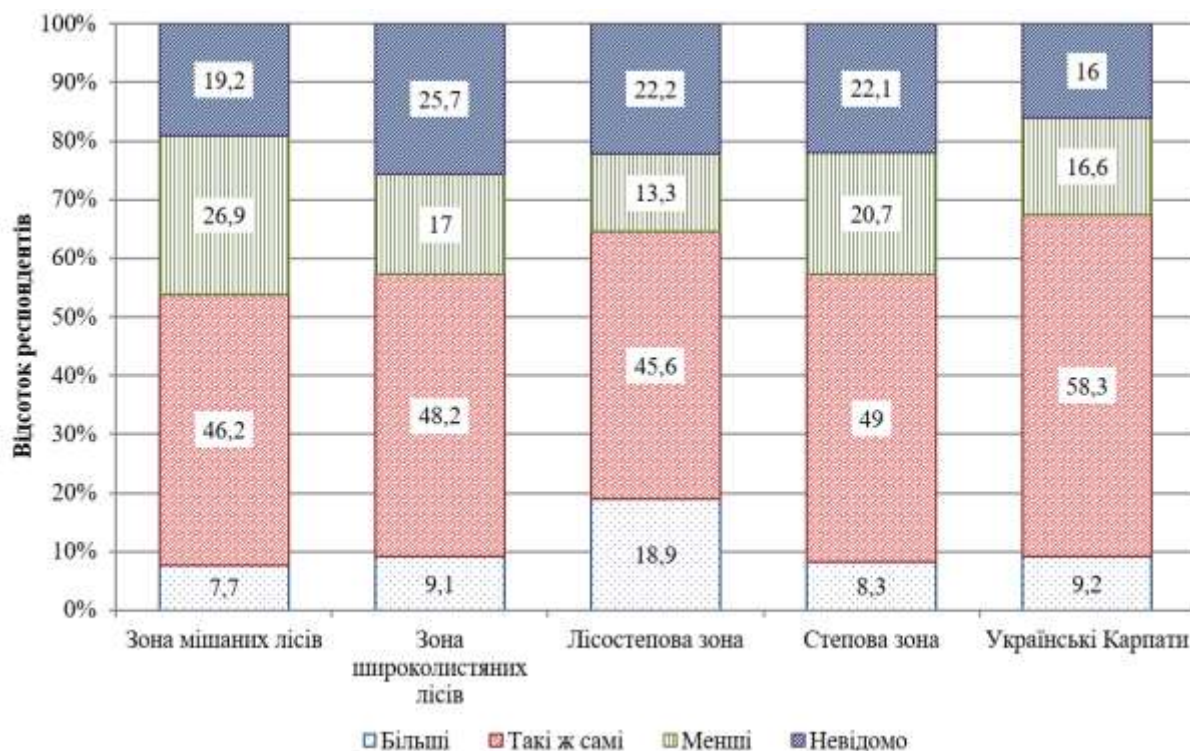


Рис. 5 – Оцінка ступеня проблем із матками на думку респондентів за фізико-географічними зонами України після зимівлі 2018–2019 рр. порівняно з тими, що спостерігалися зазвичай

ними у 2018 р. матками у порівнянні зі старими (незаміненими) матками (рис. 6).

В результаті з'ясовано, що більшість бджолярів України (43,9–50,3 %) не вбачають різниці в зимівлі, тоді як «кращою» зимівлю з новою маткою вважали 28,9–36,4 %. Лише в зоні мішаних лісів близько 70 % опитаних бджолярів оцінили зимівлю з новою маткою як «кращу», ніж із старою. Одностайним виявилось заперечення респондентами того, що колонії з новою маткою зимують гірше, ніж зі старою (0–10 %).

Зауважимо, що за результатами австрійських науковців виявлено наступні ризики зростання зимових втрат: високий відсоток зараження бджіл кліщем варроа у вересні, слабкі колонії у вересні, наявність матки віком більше одного року, а також брак досвіду у пасічника. Однак перший серед перелічених чинників виявив найбільший потенціал для збільшення зимових втрат [15].

Рівень втрат бджолиних колоній після зимівлі варіював не лише між різними фізико-географічними зонами, а й між окремими бджолярськими господарствами. Так, було проведено порівняння показників втрат на пасіках різного розміру (табл. 1). В Україні, як і в більшості країн Європи, переважають бджолярські господарства із невеликою кількістю бджолиних колоній. Зокрема, серед наших респондентів 72,8 % утримують малі пасіки (до 50 колоній), 22,2 % – середні (51–150 колоній) та лише 5 % бджолярів – великі

(більше 151 колонії). Встановлено обернену залежність між розміром пасіки та рівнем втрат після зимівлі: майже 18 % втрати на малих пасіках, 8,38 % – на середніх та до 7,6 % – на великих пасіках. Виявлено статистично достовірну різницю втрат бджолиних колоній на малих пасіках порівняно із середніми та великими (Табл. 1)

Такі результати можна вважати підтвердженими, оскільки вони повторюються щорічно та узгоджуються із висновками зарубіжних праць про те, що в бджільницьких господарствах з 50 або меншою кількістю колоній спостерігаються вищі загальні зимові втрати ($p < 0,001$) [12, 21]. Причиною цього, очевидно, є ефективніша організація догляду та всіх бджільницьких операцій на професійних пасіках у порівнянні з аматорськими. Крім того, доведено, що більші колонії використовують свої продовольчі запаси більш ефективно, оскільки споживання їжі на одну особину є нижчим порівняно з малими [21].

Починаючи з 80-х років ХХ століття бджільництво більшості країн світу зіткнулося із значною загрозою – експансією інвазійного кліща *Varroa destructor* Anderson & Trueman, 2000, шкодочинністю якого, без сумнівів, спричинені тривожні втрати, яких зазнали керовані бджолині колонії протягом останніх десятиріч. *V. destructor* походить з Південно-Східної Азії і продовж другої половини ХХ століття стрімко розширив свій ареал по всій Європі, Північній та Південній

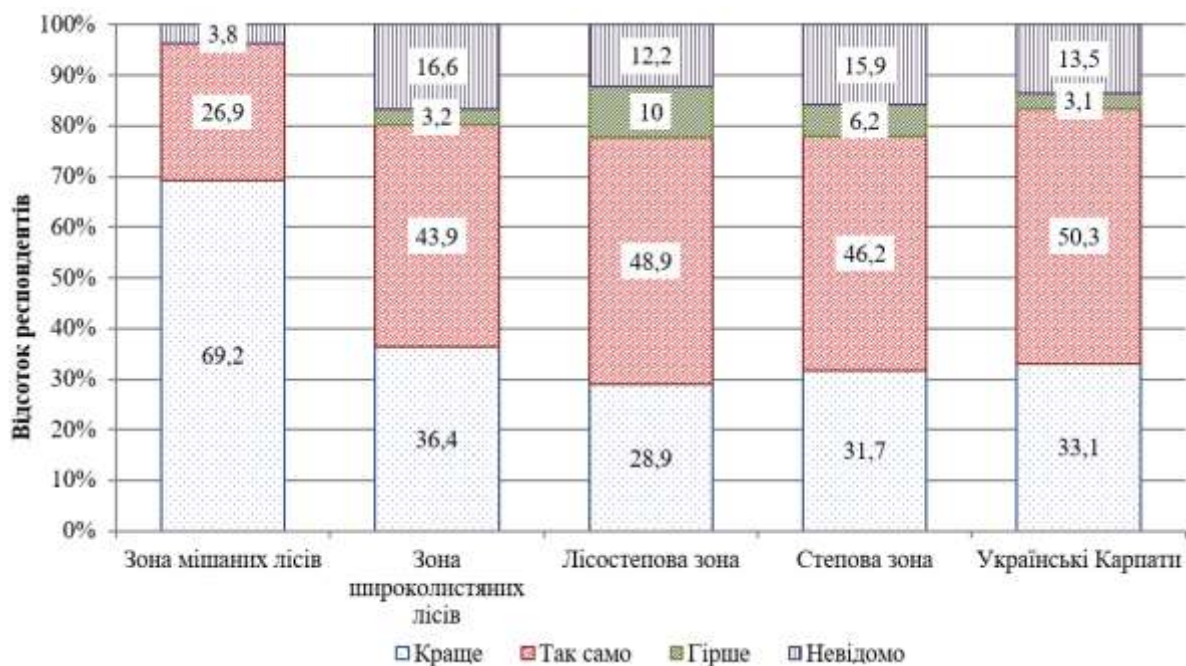


Рис. 6 – Оцінка успішності зимівлі колоній з новими матками у порівнянні зі старими (незаміненими) матками на думку респондентів за фізико-географічними зонами України після зимівлі 2018–2019 рр.

Таблиця 1

Втрати бджолиних колоній на пасіках різного розміру після зимівлі 2018–2019 рр.

Втрати	Малі пасіки (<50 колоній)	Середні пасіки (51-150 колоній)	Великі пасіки (>151 колоній)
Частка втрачених колоній (95 % CI)	17,64*# (15,68; 19,78)	8,38 (6,34; 11,01)	7,59 (4,88; 11,62)

Примітка: * – різниця достовірна при порівнянні з «середніми» пасікам ($p \leq 0,05$); # – різниця достовірна при порівнянні з «великими» пасіками ($p \leq 0,05$).

Америці, Африці та Азіатсько-Тихоокеанському регіону. Ще на батьківщині у першій половині ХХ століття кліщ варроа перемістився від свого первинного хазяїна *Apis cerana* Fabricius, 1793 до *A. mellifera*. *V. destructor* – облігатний ектопаразит медоносних бджіл, що все життя проводить у бджолиному гнізді, живлячись як на преімагінальних, так і на дорослих особинах бджіл. Чітка синхронізація життєвого циклу кліща та його хазяїна, здатність векторувати та активувати інші патогенні агенти є важливими особливостями, що визначають його центральну роль у патогенезі бджіл. Крім того, паразитування *V. destructor* негативно впливає на низку фізіологічних процесів, пов'язаних з зимівлею, в тому числі спричиняє зниження титру віталогеніну, зменшення кількості вуглеводів та, загалом, скорочення тривалості життя літніх та зимових бджіл. Таким чином, паразитування кліща варроа як основного зоонозу бджіл призводить до нищівних наслідків як для екосистем, так і для бджільництва як галузі господарювання [23].

У розділі анкети щодо моніторингу та лікування вароозу, 77,8 % опитаних бджолярів України зазначили, що проводили лікування бджолиних колоній від кліща *V. destructor* у період з квітня 2018 р. по квітень 2019 р., при чому 16,4 % респондентів лікували свої колонії без попереднього моніторингу наявності кліща. Зауважимо, що перший показник дещо зменшився в порівнянні з минулим (83,3 %) та позаминулим роками (88 %) [18]. 22,2 % респондентів не проводили лікування бджолиних колоній від вароозу, при чому, половина з них спостерігали за своїми колоніями стосовно зараженості кліщем Варроа, тоді як решта не проводили ні лікування, ні моніторингу.

Для боротьби з вароозом застосовується низка хімічних препаратів і біотехнічних методів. У анкеті респондентам про-

понували відмітити біотехнологічні методи та/чи діючу речовину хімічного засобу (оскільки на ринках різних країн вони випускаються як препарати під різними назвами), які були застосовані ними для лікування вароозу за період з квітня 2018 року до квітня 2019 р (табл. 2). В результаті з'ясовано, що більшість бджолярів України впродовж вказаного періоду здійснювали кілька обробок бджолиних колоній (існують випадки до 20 застосувань окремими респондентами).

Встановлено, що найбільша кількість респондентів (33,7 %) за вказаний період одно- чи багаторазово проводили видалення трутневого розплоду.

Серед хімічних препаратів більшість респондентів надавали перевагу засобам на основі амітразу (у смужках – 11,67 %, обкурювання – 9,9 %) та флуметрину (15,1 %). Також популярною виявилася щавлева кислота (обприскуванням та сублімацією (9,5 % та 8,4 % відповідно)). 16,4 % опитаних застосовували препарати, назви яких не запропоновано у анкеті («інші хімічні препарати»), зокрема двокомпонентні хімічні препарати (наприклад, Біпін-Т (амітраз+тимол), Varasket (амітраз+тау-флувалінат) та ін., а також фабричні препарати на основі ефірних олій, наприклад, Екопол.

Значною популярністю серед пасічників України (6,65 %) користувалися народні методи лікування від вароозу: квіти бузини, пижма, хвойна мука та ін., які, як правило, використовувалися як доповнення до певного хімічного препарату. Варто відмітити, що, як і минулого року, запропонований у анкеті метод гіпертермії непоширений серед бджолярів України. Так, за дослідний період тільки 4,58 % респондентів проводили теплову обробку своїх колоній. Препарати на основі кумафосу та молочної кислоти застосовували не більше 4 % опитаних бджолярів.

Таблиця 2

Найпоширеніші біотехнічні методи та хімічні препарати проти кліща *Varroa destructor* та показники втрат бджолиних колоній за їх застосування

Препарати та методи	Частка бджолярів, що застосовує метод чи препарат (%)	Втрати колоній при використанні (95 % CI)	Втрати колоній без використання (95 % CI)
Видалення трутневого розплоду	33,68	11,54 (9,51; 13,95)	11,05 (9,53; 12,78)
Гіпертермія	4,58	6,65 (3,14; 13,53)	11,44 (10,16; 12,87)
Інші біотехнічні методи	3,10	9,14 (4,22; 18,66)	11,26 (10; 12,67)
Флуметрин (н-д, Байварол)	15,07	7,18 (5,4; 9,48)*	12,05 (10,62; 13,64)
Амітраз (в пластинах, н-д, Arivar)	11,67	7,72 (5,33; 11,04)	11,7 (10,34; 13,22)
Амітраз (обкурювання та аерозолі) (Біпін)	9,9	6,12 (4,14; 8,95)*	11,92 (10,55; 13,44)
Щавлева кислота - крапельно	9,45	11,53 (7,46; 17,4)	11,14 (9,85; 12,58)
Тау-флувалінат (н-д, Apistan)	8,71	8,20 (5,25; 12,6)	11,57 (10,24; 13,04)
Тимол (н-д, Ariguard, Api Life Var)	8,57	12,33 (8,19; 18,15)	11,07 (9,78; 12,5)
Щавлева кислота - випаровування	8,42	8,80 (5,97; 12,8)	11,45 (10,12; 12,93)
Мурашина кислота - короткостроково	5,17	10,24 (6,17; 16,53)	11,24 (9,95; 12,67)
Мурашина кислота - довгостроково	4,14	9,07 (4,91; 16,17)	11,28 (10; 12,7)
Молочна кислота	3,69	5,53 (2,9; 10,28)	11,49 (10,2; 12,92)
Кумафос (в пластинах, Checkmite+)	3,25	12,74 (7,54; 20,72)	11,11 (9,84; 12,53)
Препарати на основі щавлевої кислоти	2,51	8,83 (3,61; 20,02)	11,26 (9,99; 12,66)
Кумафос (н-д, Perizin)	1,77	10,91 (27,02; 35,07)	11,18 (9,94; 12,56)
Інші хімічні препарати	16,40	8,25 (6,26; 10,79)	11,97 (10,52; 13,58)
Інші методи	6,65	5,97 (3,42; 10,21)*	11,76 (10,44; 13,23)

Примітка: * – різниця достовірна при порівнянні із втратами на пасіках, де не застосовували даний препарат чи метод ($p \leq 0,05$).

Зауважимо, що минулого року серед хімічних засобів більшість респондентів (33,7 %) застосовували препарати на основі амітразу шляхом обкурювання чи у вигляді аерозолів, рідше використовували смужки (11,3 %). Тоді як лише 9,2 % респондентів застосовували препарати з флуметрином, а 7,97 % – щавлеву кислоту (крапельно) та 7,3 % – препарати на основі тимолу [18].

Щоб оцінити ефективність застосування препаратів та методів проти вароозу, було проаналізовано рівень втрат бджолиних колоній при застосуванні певного препарату/методу та за його відсутності.

Згідно із результатами, достовірну різницю встановлено між показниками втрат

бджолиних колоній у респондентів, що застосовували флуметрин, амітраз (обкурювання та аерозолі) та «інші» (народні) методи проти кліща *V. destructor*, в порівнянні із втратами бджолиних колоній у респондентів, що не застосовували дані препарати. Отже, можна стверджувати, що найбільш ефективними препаратами проти вароозу є флуметрин, амітраз (обкурювання та аерозолі) та інші (народні) методи боротьби.

У світовій практиці бджільництва з метою підвищення його ефективності використовують низку класичних та сучасних біотехнічних заходів. За аналізом відповідей наших респондентів встановлено, що серед запропонованих заходів 67,9 % пасіч-

ників України вказали на придбання фабричної вощини, а 59,1 % проводять утеплення вуликів взимку (табл. 3). Найрідше бджолярі застосовують вулики з синтетичних матеріалів, сертифіковане органічне бджільництво, використовують маток із Варроатолерантних ліній, розплідні чарунки малого розміру, безвошинне утримання бджіл та

пластикову вощину в розплідному гнізді. При цьому, достовірного зменшення втрат при застосуванні будь-якого із запропонованих заходів не виявлено, що вказує на відсутність ефективності запропонованих заходів щодо покращення зимової виживаності бджолиних колоній в умовах України.

Таблиця 3

Найпоширеніші біотехнічні заходи, які використовуються в практиці бджільництва в Україні та показники втрат бджолиних колоній за їх використання

Заходи	Частка бджолярів, що використовують захід (%)	Втрати колоній при використанні заходу (95 % CI)	Втрати колоній без використання заходу (95 % CI)
Утеплення вуликів взимку	59,1	10,04 (8,65; 11,63)	8,62 (6,41; 11,49)
Вулики з синтетичних матеріалів	8,0	9,2 (5,8; 14,29)	9,76 (8,49; 11,19)
Сертифіковане органічне бджільництво	5,2	6,23 (3,95; 9,69)	9,99 (8,71; 11,44)
Утримання маток з Варроатолерантних ліній	2,4	12,83 (6,56; 23,58)	9,52 (8,3; 10,9)
Розплідні чарунки малого розміру	3,1	14,68 (10,39; 20,34)	9,45 (8,21; 10,85)
Безвошинне утримання бджіл	3,0	6,61 (3,96; 10,85)	9,83 (8,58; 11,24)
Придбання фабричної вощини	67,9	9,73 (8,44; 11,2)	9,32 (6,32; 13,53)
Пластикові вощини в розплідному гнізді	3,2	8,84 (4,3; 17,3)	9,74 (8,51; 11,14)

Висновки

Рівень загальних втрат бджолиних колоній після зимівлі 2018–2019 рр. в Україні становив 11,18 %, залишаючись на стабільному рівні відносно минулорічного показника (після зимівлі 2016–2017 рр. – 11,3 %).

Близько половини втрачених колоній загинули (5,95 %) (після зимівлі 2017–2018 рр. рівень смертності становив 6,7 %). Рівень фатальних проблем з матками зріс в 1,6 разів (3,37 % порівняно із 2,1 % після зимівлі 2016–2017 рр.), а показник втрат через негативні природні явища знизився в 1,3 рази і становив 1,86 % (після зими 2017–2018 рр. – 2,4 %).

Найбільші втрати відмічено у лісостеповій зоні (16,2 %) та зоні мішаних лісів (15,1 %), а найменші – в Українських Карпатах (7,2 %). Традиційно, найчастішою

ознакою загиблих колоній в Україні була наявність великої кількості мертвих бджіл у вулику чи перед ним (25,3 %). Більшість бджолярів України (43,9–50,3 %) не вбачають різниці в зимівлі колоній із заміненою у 2018 р. маткою порівняно із старою.

77,8 % бджолярів України проводили лікування бджолиних колоній від вароозу, 16,4 % респондентів лікували без попереднього моніторингу; а 22,2 % не проводили лікування. 33,7 % одно- чи багаторазово проводили видалення трутневого розплоду. Найбільш поширеними хімічними противароозними засобами виявилися засоби на основі амітразу (21,57 %), флуметрину (15,1 %) та щавлевої кислоти (17,9 %). Зниження рівня зимових втрат при застосуванні перших двох згаданих препаратів підтвердилося статистично.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що дослідження проводились за фінансової підтримки Міністерства освіти і науки України (грант № 0120U102119). Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Література

1. Larsen A., Reynaldi F. J., Guzmán-Novoa E. Fundaments of the honey bee (*Apis mellifera*) immune system. 2019. *Rev Mex Cienc Pecuv.* Vol. 10, № 3. P. 705–728. URL: <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i3.4785>
2. Brodschneider R., Brus J., Danihlík J. Comparison of apiculture and winter mortality of honey bee colonies (*Apis mellifera*) in Austria and Czechia. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 2019. Vol. 274. P. 24–32. URL: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.01.002>
3. Faucon, J. P., Mathieu, L., Ribiere, M., Martel, A. C., Drajnudel, P., Zeggane, S., ... & Aubert, M. F. A. Honey bee winter mortality in France in 1999 and 2000. *Bee World.* 2002. Vol. 83. № 1. P. 14–23. URL: <https://doi.org/10.1080/0005772X.2002.11099532>
4. Currie, R. W., Pernal, S. F., & Guzmán-Novoa, E. Honey bee colony losses in Canada. *Journal of Apicultural Research.* 2010. Vol. 49. № 1. 104–106. URL: <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.49.1.18>
5. Genersch, E., Von Der Ohe, W., Kaatz, H., Schroeder, A., Otten, C., Büchler, R., ... & Meixner, M. The German bee monitoring project: a long term study to understand periodically high winter losses of honey bee colonies. *Apidologie.* 2010. Vol. 41. № 3. P. 332–352. URL: <https://doi.org/10.1051/apido/2010014>
6. Neumann P., Carreck N. L. Honey bee colony losses. *Journal of Apicultural Research.* 2010. Vol. 49. № 1. P. 1–6. URL: <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.49.1.01>
7. Van der Zee R., Pisa L., Andonov S., Brodschneider R., Charriere J. D., Chlebo R., ... & Gray A. Managed honey bee colony losses in Canada, China, Europe, Israel and Turkey, for the winters of 2008–9 and 2009–10. *Journal of Apicultural Research.* 2012. Vol. 51. P. 100–114. URL: <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.51.1.12>
8. Lee K. V., Steinhauer N., Rennich K., Wilson M. E., Tarpy D. R., Caron D. M., ... & Pettis J. A national survey of managed honey bee 2013–2014 annual colony losses in the USA. *Apidologie.* 2015. Vol. 46. № 3. 292–305. URL: <https://doi.org/10.1007/s13592-015-0356-z>
9. Запаси меду в Україні становлять половину від загального щорічного обсягу виробництва та продовжують збільшуватися – думка. URL: <https://ua.interfax.com.ua/news/economic/630271.html> (дата звернення: 29.10.2020).
10. Низький рівень цін на мед буде зберігатися в найближчі рік-два. URL: <https://uhbdp.org.ua/news/project-news/2034-nyzkyi-riven-tsin-na-med-bude-zberihatysia-v-naiblyzhchi-rik-dva> (дата звернення: 29.10.2020).
11. Zee R. van der, Brodschneider R., Brusbardis V., Charriere J. D., Chlebo R., Coffey M. F., ... & Kristiansen P. Results of international standardised beekeeper surveys of colony losses for winter 2012–2013: analysis of winter loss rates and mixed effects modelling of risk factors for winter loss. *Journal of Apicultural Research.* 2014. Vol. 53, № 1. P. 19–34. URL: <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.53.1.02>
12. Brodschneider R., Gray A., Van der Zee R., Adjlane N., Brusbardis V., Charrière J. D., ... & Danihlík J. Preliminary analysis of loss rates of honey bee colonies during winter 2015/16 from the COLOSS survey. *Journal of Apicultural Research.* 2016. Vol. 55, №5. P. 375–378. URL: <https://doi.org/10.1080/00218839.2016.1260240>
13. Brodschneider R., Gray A., Adjlane N., Ballis A., Brusbardis V., Charrière J. D., ... & Maja Dražić M. Multi-country loss rates of honey bee colonies during winter 2016/2017 from the COLOSS survey. *Journal of Apicultural Research.* 2018. Vol. 57, № 3. P. 452–457. URL: <https://doi.org/10.1080/00218839.2018.1460911>
14. Gray A., Brodschneider R. Activities in 2018 of the COLOSS core project on monitoring colony losses : 14th COLOSS Conference 16-17th September, 2018, Ghent : Belgium. P. 17.
15. 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, № 7. e0219293. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219293>
16. Національний атлас України. Київ : ДНВП «Картографія». 2007. 440 с.
17. Реброва О. Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA. Москва : МедиаСфера. 2003. 312 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: <https://doi.org/10.31861/biosystems2019.01.060>
19. Gray A., Brodschneider R., Adjlane N., Ballis A., Brusbardis V., Charrière J. D., ... & Csáki T. Loss rates of honey bee colonies during winter 2017/18 in 36 countries participating in the COLOSS survey, including effects of forage sources. *Journal of Apicultural Research.* 2019. Vol. 58. № 4. P. 479–485. URL: <https://doi.org/10.1080/00218839.2019.1615661>
20. Gray A., Adjlane N., Arab A., Ballis A., Brusbardis V., Charrière J. D., ... & Dahle B. 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. № 5. P. 744–751. URL: <https://doi.org/10.1080/00218839.2020.1797272>
21. 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, № 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>
22. Free J. B., Racey P. A. The effect of the size of honeybee colonies on food consumption, brood rearing and the longevity of the bees during winter. *Ent Exp Appl*. 1968. Vol. 11. P. 241–249. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1968.tb02048.x>
23. Akimov I. A., Kiryushyn V. E. Etological aspects of honeybee *Apis mellifera* (Hymenoptera, Apidae) adaptation to parasitic mite *Varroa destructor* (Mesostigmata, Varroidae) invasion. *Vestnik zoologii*. 2010. Vol. 44. № 1. P. 49–54. URL: <https://doi.org/10.2478/v10058-010-0004-z>

References

1. Larsen, A., Reynaldi, F. J., & Guzmán-Novoa, E. (2019). Fundamentals of the honey bee (*Apis mellifera*) immune system. Review. *Rev Mex Cienc Pecu*, 10(3), 705–728. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i3.4785>
2. Brodschneider, R., Brus, J., & Danihlík, J. (2019). Comparison of apiculture and winter mortality of honey bee colonies (*Apis mellifera*) in Austria and Czechia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 274, 24–32. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.01.002>
3. Faucon, J. P., Mathieu, L., Ribiere, M., Martel, A. C., Drajnudel, P., Zeggane, S., ... & Aubert, M. F. A. (2002). Honey bee winter mortality in France in 1999 and 2000. *Bee world*, 83(1), 14–23. <https://doi.org/10.1080/0005772X.2002.11099532>
4. Currie, R. W., Pernal, S. F., & Guzmán-Novoa, E. (2010). Honey bee colony losses in Canada. *Journal of Apicultural Research*, 49(1), 104–106. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.49.1.18>
5. Genersch, E., Von Der Ohe, W., Kaatz, H., Schroeder, A., Otten, C., Büchler, R., ... & Meixner, M. (2010). The German bee monitoring project: a long term study to understand periodically high winter losses of honey bee colonies. *Apidologie*, 41(3), 332–352. <https://doi.org/10.1051/apido/2010014>
6. Neumann P., Carreck N. L. (2010). Honey bee colony losses. *Journal of Apicultural Research*. 49 (1), 1–6. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.49.1.01>
7. Van der Zee, R., Pisa, L., Andonov, S., Brodschneider, R., Charriere, J. D., Chlebo, R., ... & Gray, A. (2012). Managed honey bee colony losses in Canada, China, Europe, Israel and Turkey, for the winters of 2008–9 and 2009–10. *Journal of Apicultural Research*, 51(1), 100–114. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.51.1.12>
8. Lee, K. V., Steinhauer, N., Rennich, K., Wilson, M. E., Tarpay, D. R., Caron, D. M., ... & Pettis, J. (2015). A national survey of managed honey bee 2013–2014 annual colony losses in the USA. *Apidologie*, 46(3), 292–305. <https://doi.org/10.1007/s13592-015-0356-z>
9. Honey stocks in Ukraine account for half of total annual production and continue to increase – opinion. Retrieved from <https://ua.interfax.com.ua/news/economic/630271.html> (in Ukrainian).
10. Low honey prices will persist in the next year or two. Retrieved from <https://uhbdp.org/en/news/project-news/2034-nyzkyi-riven-tsin-na-med-bude-zberihatysia-in-naiblyzhchi-rik-two>) (in Ukrainian).
11. Zee, R. V. D., Brodschneider, R., Brusbardis, V., Charriere, J. D., Chlebo, R., Coffey, M. F., ... & Kristiansen, P. (2014). Results of international standardised beekeeper surveys of colony losses for winter 2012–2013: analysis of winter loss rates and mixed effects modelling of risk factors for winter loss. *Journal of apicultural research*, 53(1), 19–34. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.53.1.02>
12. Brodschneider, R., Gray, A., Van der Zee, R., Adjlane, N., Brusbardis, V., Charrière, J. D., ... & Danihlík, J. (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. <https://doi.org/10.1080/00218839.2016.1260240>
13. Brodschneider, R., Gray, A., Adjlane, N., Ballis, A., Brusbardis, V., Charrière, J. D., ... & Maja Dražić, M. (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. <https://doi.org/10.1080/00218839.2018.1460911>
14. Gray A., Brodschneider R. (2018). Activities in 2018 of the COLOSS core project on monitoring colony losses. *14th COLOSS Conference* 16–17th September, 2018, Ghent, Belgium. 17.
15. 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), e0219293. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219293>
16. National atlas of Ukraine (2007). Kyiv: Kartohrafia. 440. (in Ukrainian).
17. Rebrova O.Y. (2003) Statistical analysis of medical data. Use of the STATISTICA application package. Moscow: MediaSfera. 312.

18. Fedoriak M. M., Tymochko L. I., Kulmanov O. M. et al. (2019). Results of annual honey bee colony losses survey in Ukraine: winter 2017–2018. *Biological systems*, 11(1), 60–70. <https://doi.org/10.31861/biosystems2019.01.060> (in Ukrainian).
19. Gray, A., Brodschneider, R., Adjlane, N., Ballis, A., Brusbardis, V., Charrière, J. D., ... & Csáki, T. (2019). Loss rates of honey bee colonies during winter 2017/18 in 36 countries participating in the COLOSS survey, including effects of forage sources. *Journal of Apicultural Research*, 58(4), 479–485. <https://doi.org/10.1080/00218839.2019.1615661>
20. Gray, A., Adjlane, N., Arab, A., Ballis, A., Brusbardis, V., Charrière, J. D., ... & Dahle, B. (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. <https://doi.org/10.1080/00218839.2020.1797272>
21. 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. Retrieved from <https://www.ujecology.com/articles/winter-losses-of-honey-bee-apis-mellifera-l-colonies-in-ukraine-monitoring-results-of-20152016.pdf>
22. Free, J. B., & Racey, P. A. (1968). The effect of the size of honeybee colonies on food consumption, brood rearing and the longevity of the bees during winter. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 11(2), 241–249. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1968.tb02048.x>
23. Akimov I. A., Kiryushyn V. E. (2010). Etological aspects of honeybee *Apis mellifera* (Hymenoptera, Apidae) adaptation to parasitic mite *Varroa destructor* (Mesostigmata, Varroidae) invasion. *Vestnik zoologii*. 44(1). 49–54. <https://doi.org/10.2478/v10058-010-0004-z>

Надійшла: 04.09.2020

Прийнята: 20.10.2020

УДК (UDC): 504.054:631.5:621.039

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-23-12>

В. В. ІЛЛЕНКО¹, канд. біол. наук, **К. Є. ШАВАНОВА¹**, канд. біол. наук,
Ю. В. РУБАН¹, **О. Ю. ПАРЕНЮК¹**, канд. біол. наук

¹Національний університет біоресурсів і природокористування України
вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна

e-mail: Illienkovv@gmail.com
shavanova@gmail.com
yuliyaruban24@gmail.com
olena.parenjuk@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0058-0442>
<https://orcid.org/0000-0002-6798-3123>
<https://orcid.org/0000-0002-1767-3688>
<https://orcid.org/0000-0002-9057-8441>

НАДХОДЖЕННЯ ¹³⁷Cs У РОСЛИНИ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ЗА ВПЛИВУ КОМПЛЕКСНИХ БАКТЕРІАЛЬНИХ ПРЕПАРАТІВ

Мета. Оцінка ролі окремих штамів мікроорганізмів у переході ¹³⁷Cs у рослини ярої пшениці і ріпака.

Методи. Польові, лабораторні, інокуляції, гамма-спектрометрії.

Результати. Грунтові мікроорганізми можуть як знижувати, так і посилювати перехід ¹³⁷Cs із ґрунту в рослини. Мікроорганізми-інокулянти при використанні на бідних елементами живлення ґрунтах прискорюють ріст рослин у довжину, що свідчить про покращення умов їхнього зростання. У дослідженнях вдалося показати, що дана властивість не залежить від локалізації мікроорганізму на поверхні кореня, адже всі проаналізовані бактерії належали до групи таких, що колонізують ризосферу рослини. В умовах польового дослідження інокуляція насіння ріпаку штамом *A. chroococcum* УКМ В-6082 забезпечила зниження K_d ¹³⁷Cs майже на 50 % порівняно з контролем. У досліді з пшеницею достовірного зменшення накопичення ¹³⁷Cs не було. Застосування комплексів препаратів на основі штамів бактерій *Agrobacterium radiobacter* ІМВ В-7246 та *A. chroococcum* УКМ В-6082 для інокуляції насіння ріпаку й *Azotobacter chroococcum* УКМ В-6003, можна розглядати як додатковий радіозахисний спосіб блокування надходження ¹³⁷Cs у ці види сільськогосподарських рослин.

Висновки. Грунтові мікроорганізми можуть як знижувати, так і підвищувати накопичення ¹³⁷Cs в біомасі рослин і ця властивість не залежить від локалізації мікроорганізму на поверхні кореня, адже всі проаналізовані бактерії належали до групи таких, що колонізують ризосферу рослини. Запропоновано використання інокуляції насіння сільськогосподарських рослин бактеріальними препаратами за умов вирощування на забрудненому радіонуклідами ґрунті як додаткового заходу щодо зменшення накопичення радіонуклідів у зеленій масі рослин.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: мікробні добрива, радіонукліди, контрзаходи

Illienko V. V.¹, Shavanova K. E.¹, Yuliia Ruban Y. V.¹, Parenjuk O. Y.¹

¹ National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Heroyiv Oborony St., 15, Kyiv, 03041, Ukraine

TRANSFER OF ¹³⁷CS TO CEREAL PLANTS DUE TO MICROORGANISMS ACTIVITY

Purpose. Evaluation of the role of individual strains of microorganisms in transfer of ¹³⁷Cs in spring wheat and rapeseed plants.

Methods. Fieldwork, laboratory experiments, inoculation, gamma spectrometry.

Results. Soil microorganisms can both reduce and enhance the transition of ¹³⁷Cs from soil to plants. Inoculating microorganisms, when used on nutrient poor soils, accelerate the growth of plants in length, which indicates an improvement in their growing conditions. Studies have shown that it does not depend on the localization of the microorganism on the root surface, because all analyzed bacteria belonged to the group colonizing the rhizosphere of the plant. In experiments with wheat, there was no significant reduction in ¹³⁷Cs accumulation. The use of drug complexes based on the bacterial strains *Agrobacterium radiobacter* IMV B-7246 and *A. chroococcum* UKM B-6082 for inoculation of rapeseed and *Azotobacter chroococcum* UKM B-6003 can be considered as an additional radioprotective method of blocking the influx of ¹³⁷Cs in these rural plants.

Conclusions. Soil microorganisms can both reduce and increase the accumulation of ¹³⁷Cs in plant biomass and this property does not depend on the localization of the microorganism on the root surface, because all

© Ілленко В. В., Шаванова К. Є., Рубан Ю. В., Паренюк О. Ю., 2020



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/).

analyzed bacteria belonged to the group colonizing the rhizosphere of the plant. The use of inoculation of seeds of agricultural plants with bacterial preparations under the conditions of cultivation on soil contaminated with radionuclides as an additional measure to reduce the accumulation of radionuclides in the green mass of plants is proposed.

KEY WORDS: microbial fertilizers, radionuclides, countermeasures

Ильенко В. В.¹, Шаванова Е. Е.¹, Рубан Ю. В.¹, Паренюк Е. Ю.¹

¹Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, ул. Героев Оборона, 15, г. Киев, 03041, Украина

ПОСТУПЛЕНИЯ ¹³⁷CS В РАСТЕНИЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ПОД ВЛИЯНИЕМ КОМПЛЕКСНЫХ БАКТЕРИАЛЬНЫХ ПРЕПАРАТОВ

Цель. Оценка роли отдельных штаммов микроорганизмов в переходе ¹³⁷Cs в растения яровой пшеницы и рапса.

Методы. Полевые, лабораторные, инокуляции, гамма-спектрометрии.

Результаты. Почвенные микроорганизмы могут как снижать, так и усиливать переход ¹³⁷Cs из почвы в растения. Микроорганизмы-инокулянты при использовании на бедных элементами питания почвах ускоряют рост растений в длину, что свидетельствует об улучшении условий их роста. В исследованиях удалось показать, что данное свойство не зависит от локализации микроорганизма на поверхности корня, ведь все проанализированные бактерии принадлежали к колонизирующим ризосферу растения. В условиях полевого опыта инокуляция семян штаммом *A. chroococcum* УКМ В-6082 обеспечила снижение K_n^{137Cs} почти на 50% по сравнению с контролем. В опытах с пшеницей достоверного уменьшения накопления ¹³⁷Cs не было. Применение комплексов препаратов на основе штаммов бактерий *Agrobacterium radiobacter* ИМО В-7246 и *A. chroococcum* УКМ В-6082 для инокуляции семян и *Azotobacter chroococcum* УКМ В-6003, можно рассматривать как дополнительный радиозащитное способ блокировки поступления ¹³⁷Cs в эти виды сельскохозяйственных растений.

Выводы. Почвенные микроорганизмы могут как снижать, так и повышать накопления ¹³⁷Cs в биомассе растений и это свойство не зависит от локализации микроорганизма на поверхности корня, ведь все проанализированы бактерии принадлежали к группе таких, что колонизируют ризосферу растения. Предложено использование инокуляции семян сельскохозяйственных растений бактериальными препаратами в условиях выращивания на загрязненной радионуклидами почве как дополнительной меры по уменьшению накопления радионуклидов в зеленой массе растений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: микробные удобрения, радионуклиды, контрмеры

Вступ

Для повного розуміння шляхів міграції радіонуклідів у навколишньому середовищі, зокрема у агроєкосистемах, важливим є детальне розуміння ролі кожної з ланок екосистеми у названому процесі. Забруднені радіоізотопами цезію ґрунти, які розпадаються через β та γ -розпад, представляють довгострокову небезпеку навіть після тривалого періоду напіврозпаду (30 років для ¹³⁷Cs та 2 роки для ¹³⁴Cs) [1]. Отже, забруднення ізотопами цезію сільськогосподарських районів залишається однією з найбільших проблем через збитки, які воно завдає худобі, так і ризики для здоров'я людей, спричинених поглинанням забруднених сільськогосподарських продуктів [2–4]. Так детальне розуміння ролі ґрунтових бактерій

надать змогу для більш предметної побудови моделей міграції [5].

Хоча вплив дії іонізуючого випромінювання на мікроорганізми, зокрема ґрунтові, досліджувався і до аварії на ЧАЕС, їх роль у міграції радіонуклідів та зміні фізико-хімічного стану у ґрунті було досліджено мало. Переважно у системі «радіонуклідне забруднення – мікроорганізми» розглядався вплив іонізуючої радіації на стан мікроорганізмів, а не навпаки, вплив життєдіяльності мікроорганізмів на фізико-хімічний стан радіонуклідів. На доступність ¹³⁷Cs для поглинання та накопичення рослинами сильно впливає взаємодія в ризосфері [6, 7]. Наприклад, ексудати та виділення коренів (екзополімери та епітеліальні

клітини) можуть змінювати фізичні та хімічні характеристики поверхонь коренів рослин, забезпечуючи живлення мікробів для підвищення їх активності та стимулювання росту рослин [8–10]. Поглинання рослинами ^{137}Cs із забруднених ґрунтів може бути посилено шляхом маніпулювання концентрацією та співвідношенням іонів у середовищах росту та / або використання взаємодії рослин-ґрунту та мікроорганізмів у ризосфері [11–13] для збільшення біомаси рослин. Таким чином, інокуляція бактерій, що сприяють росту рослин, також є одним із досліджених методів для посилення засвоєння ^{137}Cs [14, 15], безпосередньо забезпечуючи фітогормони, депресуючі патогени речовини або низькомолекулярні органічні кислоти, які підкислюють ризосферні ґрунти [16].

Проте, оскільки ґрунтова мікрофлора характеризується величезним біорізноманіттям і значною біомасою [17], вона може впливати на стан радіонуклідів у ґрунті і, відповідно, на їх надходження у рослини, зокрема й у культури сільськогосподарського призначення, які становлять основу харчового раціону людини, утворюють кормову базу тваринництва і на забруднених радіонуклідами територіях стають головним дозоформуєчим джерелом опромінення людини [2]. Саме тому зменшення надходження радіонуклідів на першій ланці харчового ланцюга ґрунт–рослина і тепер, на

пізній фазі аварії на Чорнобильській АЕС, залишається одним з основних завдань не тільки сільськогосподарської радіобіології та радіоекології, а й радіаційної гігієни.

Варто зазначити, що з роками після аварії відбувається «старіння цезію» [18, 19] – фіксація його у ґрунтово-вбирному комплексі, перехід у слаботорозчинний стан. Тому традиційні прийоми гальмування переходу ^{137}Cs у рослини за допомогою вапнування кислих ґрунтів [20], внесення підвищених норм калійних добрив знижують свою ефективність, про що свідчить зменшення коефіцієнтів накопичення і переходу [21]. У цій ситуації застосування бактеріальних препаратів, які можуть впливати, з одного боку, на фізико-хімічний стан поживної бази ґрунту, а з іншого – на стан радіонуклідів, може стати одним з елементів контрзаходів, спрямованих на зменшення переходу радіонуклідів із ґрунту у продовольчі рослини.

Отже, метою роботи є встановлення ролі окремих штамів мікроорганізмів у переході ^{137}Cs у рослини ріпака та пшениці, для чого було визначено вплив інокуляції насіння мікроорганізмами, що використовуються в сільському господарстві, на морфометричні показники рослин, вирощені на забрудненому радіонуклідами субстраті та досліджено зміни у накопиченні рослинами ^{137}Cs під впливом мікроорганізмів в умовах лабораторного та польового експериментів.

Матеріали і методи

Польовий дослід. Польовий дослід по визначенню впливу передпосівної інокуляції насіння сільськогосподарських культур мікроорганізмами на накопичення ^{137}Cs в зеленій масі рослин закладено на дослідній ділянці в с. Ноздрище, яке відноситься до Зони безумовного (обов'язкового) відселення (2 зона) та знаходиться на території природного заповідника «Древлянський».

Дослідна ділянка розміщена на основній поверхні першої тераси р. Уж (координати 51.235794° північної широти і 29.181377° східної довготи). Відбір проб ґрунту та зеленої маси рослин здійснювався в поетапно. Ґрунт відбирався за стандартною методикою на глибину 20–23 см, при цьому використовувався бур ґрунтовий типу АМ 26. Зелена маса рослин відбиралась згідно із стандартними методиками в радіометрії [1].

Дослід складався з 10 варіантів, включаючи два контрольних варіанти, закладений в трьох повторностях (табл. 1). Розмір ділянки однієї повторності 2 м^2 .

Культури рослин і мікроорганізмів. Для проведення досліджень взяте насіння таких сільськогосподарських рослин: ріпак ярий (*Brassica napus* L.) сорту Сіріус (схожість 85%) і пшениця яра (*Triticum aestivum* L.) сорту Елегія миронівська (схожість 88%).

Інокуляцію проводили шляхом замочування насіння в 24-годинній культурі мікроорганізмів протягом 1 год. При цьому розраховане бактеріальне навантаження складало 10^7 клітин/насінину. Контрольні варіанти замочувались в стерильній воді. Для інокуляції використані штами мікроорганізмів з колекції Інститут мікробіології і вірусології імені Д. К. Заболотного НАН України, що входять

Таблиця 1

Коди варіантів польового експерименту

Штам мікроорганізму	Культура	
	Ріпак	Пшениця
Контроль – без бактерій	1	2
<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6082	4	6
<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6003	7	9
<i>B. megaterium</i> УКМ В-5724	10	12
<i>A. radiobacter</i> ІМВ В-7246	13	15

до складу бактеріальних препаратів та мікробних добрив. А саме: *Azotobacter chroococcum* УКМ В-6082, *Azotobacter chroococcum* УКМ В-6003, *Bacillus mega-terium* УКМ В-5724, *Agrobacterium radiobacter* ІМВ В-7246.

Вимірювання активності ^{137}Cs . Вміст ^{137}Cs в попередньо підготовлених пробах ґрунту та зеленої маси рослин визначали на високоефективному гамма-спектрометрі "ADCAM-300" з напівпровідниковим детектором із високочистого германію GEM-30185 (виробництво EG&G ORTEC, США) – МДА < 5 Бк/кг за ^{137}Cs (енергетична роздільна здатність по лінії ^{60}Co 1,78 кеВ, ефективність реєстрації відносно NaI – 30 %) і багатоканальним аналізатором ASPEC-927 і програмним забезпеченням GammaVision 32 ("EG & ORTEC", США). Активність ^{137}Cs вимірювали по лінії гамма-випромінювання 661,66 кеВ короткоживучого $^{137\text{m}}\text{Ba}$, що знаходиться у рівновазі з ^{137}Cs ($^{137}\text{Cs} \rightarrow ^{137\text{m}}\text{Ba}(\gamma) \rightarrow ^{137}\text{Ba}$). Вимірювання проводили в поліетиленових посудинах об'ємом 130 см³ і в посудинах Марінеллі об'ємом 1000 см³. Калібрування спектрометра здійснювалось з використанням сертифікованих еталонних матеріалів відповідно до вимог стандартизованого методу [2].

Лабораторний експеримент (кварцевий пісок). Для аналізу біологічної доступності ^{137}Cs під впливом інокуляції насіння бактеріальними препаратами використовували ріпак ярий і пшеницю яру. Як субстрат

використовували кварцовий пісок із фракцією 0,8–1,2 мм. Для стерилізації кварцовий пісок автоклаували протягом 20 хв. при 140°C та тиску 2 атм., після чого прожарювали протягом 30 хв. при температурі 150°C. До 50 г субстрату додавали 5 мл розчину хлориду цезію активністю 40 Бк/мл та 5 мл безкалієвого середовища Мурасіге-Скуга [3] як джерело поживних елементів для рослин. Питома активність субстрату за ^{137}Cs в складала $4 \pm 0,3$ кБк/кг.

Поверхню насіння ріпаку стерилізували, витримуючи 3 хв. у 6%-му розчині перекису водню, тричі відмивали у стерильній водогінній воді. Насіння пшениці стерилізували слабким розчином перманганату калію. Для інокуляції 20 насінин переносили у 24-годинну культуру мікроорганізмів та витримували в інокуляті протягом 60 хв., після чого переносили до ємностей зі стерильним субстратом. Бактеріальне навантаження складало 10^7 кл./насінину. Для інокуляції використовували штами з колекції ІМВ НАНУ, а саме: *A. chroococcum* УКМ В-6082, *A. chroococcum* УКМ В-6003, *B. megaterium* УКМ В-5724, *A. radiobacter* ІМВ В-7246.

Рослини вирощували протягом 14 діб, після чого вимірювали довжину стебла і корінця, відмивали у воді, висушували до повітряно-сухого стану та готували до спектрометрії.

Результати та обговорення

Морфометричні характеристики рослин, інокульованих мікроорганізмами. У проведеному дослідженні проаналізовано вплив низки ґрунтових бактерій на доступність ^{137}Cs для рослин ріпаку ярого, вики посівної та пшениці ярої і вивчено вплив цезію та інокуляції насіння мікроорганізмами на морфологічні особливості рослин,

вирощених на стерилізованому кварцовому піску.

Мікроорганізми-інокулянти, що протестовані у варіантах з ріпаком, стимулюють проростання насіння. Як свідчать дані табл. 2 відсоток проростання насіння, не інокульованого бактеріями, складав $78,3 \pm 5,8\%$, у той час як в решті експеримен-

Таблиця 2

Морфометричні показники рослин, вирощених на інертному середовищі та інокульованих мікроорганізмами

Рослина	Культура-інокулянт	Довжина, см			Проростання, %
		корінь	стебло	разом	
Ріпак	Контроль	5,1±0,6	9,0±1,6	14,1±2,2	80,7±7,8
	Контроль + ¹³⁷ Cs (без бактерій)	4,8±0,3	8,5±1,1	13,4±1,1	78,3±5,8
	<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6003	8,1±0,2	9,2±0,3	17,3±0,5	85,0±8,7
	<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6082	6,7±0,6	8,1±0,5	14,8±0,6	81,7±12,6
	<i>B. megaterium</i> УКМ В-5724	7,8±0,9	8,9±0,7	16,1±1,2	85,0±8,7
	<i>A. radiobacter</i> ІМВ В-7246	8,5±0,7	9,2±0,6	17,5±0,4	91,7±5,8
Пшениця	Контроль	3,8±1,2	12,3±3,1	16,0±4,3	70,3±14,1
	Контроль + ¹³⁷ Cs (без бактерій)	7,6±0,5	8,0±0,6	15,6±1,1	65,7±5,0
	<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6003	4,3±1,6	11,5±4,2	15,9±5,6	70,0±4,1
	<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6082	2,6±0,2	10,9±4,1	13,5±4,3	66,7±9,4
	<i>B. megaterium</i> УКМ В-5724	5,3±2,5	14,6±2,9	19,8±4,2	90,3±14,1
	<i>A. radiobacter</i> ІМВ В-7246	3,8±1,1	13,8±2,0	17,7±3,1	76,7±6,2

тальних посудин проросло більше насіння, досягаючи максимуму у посудинах з насінням, інфікованим *Agrobacterium radiobacter* (91,7±5,8%). У досліді з пшеницею підвищений порівняно з контролем відсоток проростання насіння продемонстрував варіант з інокуляцією *B. megaterium* УКМ В-5724. Тут проросло 90,3±14,1% насінин, що в 1,3 разів більше, ніж у контролі. Дослід з виною посівною продемонстрував схожий результат. Як і в досліді з ріпаком найвищий показник проростання насіння було відмічено у варіанту з інокуляцією *Agrobacterium radiobacter* (88,3±8,5%).

Отримані дані (рис. 1, рис. 2) свідчать про ефективність використаних для інокуляції штамів як модифікаторів інтенсивності надходження поживних речовин: навіть на такому бідному субстраті, як кварцовий пісок.

У досліді з ріпаком ефективність у стимуляції розвитку біомаси показали всі проаналізовані штами, хоча варто зазначити, що *A. chroococcum* УКМ В-6003 та *Agrobacterium radiobacter* дали найкращі результати щодо поліпшення умов живлення, а отже і швидкості розвитку рослин: сумарна довжина рослини складала 17,3±0,5 см та 17,5±0,4 см відповідно у порівнянні з контрольними рослинами, вирощеними без інокуляції мікроорганізмами, довжина яких складала 14,1±2,2 см. Слід також підкреслити, що збільшення довжини відбулося в основ-

ному завдяки стимуляції розвитку кореневої системи.

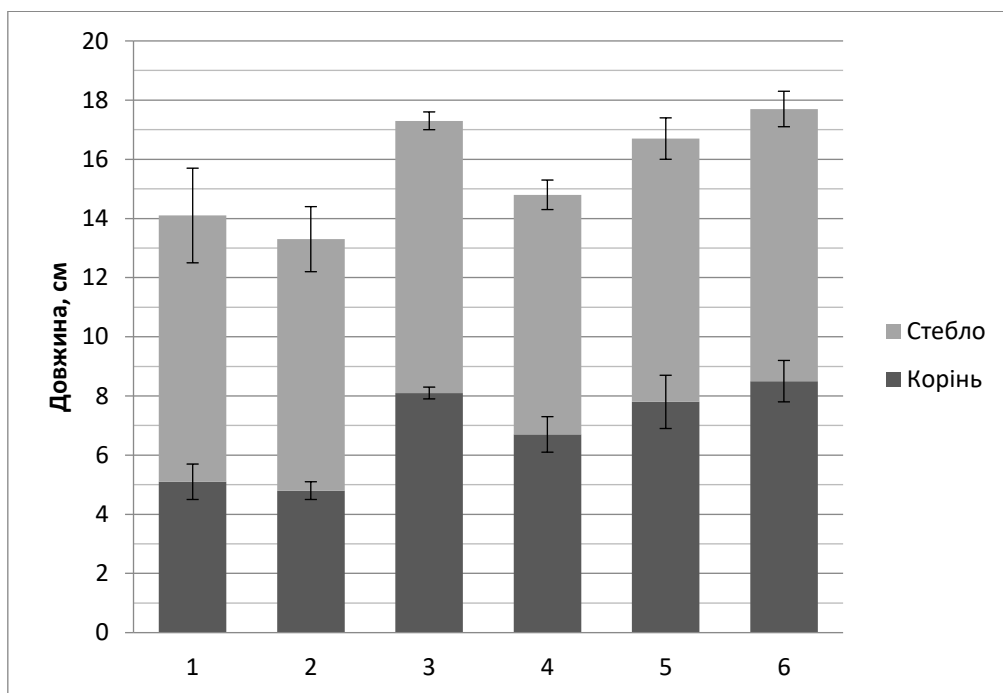
Так, довжина кореня рослини, інокульованої *A. chroococcum* УКМ В-6003, складала 8,1±0,2 см, що майже в 1,6 разів перевищує довжину кореня контрольних проростків, що складає 5,1±0,6 см.

В той же час корінці інокульованих рослин більш розгалужені і набагато краще розвинуті, що може бути пов'язано зі стимуляцією гормональної активності рослини саме у присутності радіонукліда.

Дослід з пшеницею показав дещо інші результати по стимуляції розвитку біомаси. Варіанти з інокуляцією двома штамми *Azotobacter* показали знижену швидкість росту рослин. Сумарна довжина рослин складала 13,5±4,3 та 15,9±5,6 см відповідно, в той час, як контрольні рослини мали довжину в середньому 16,0±4,3 см.

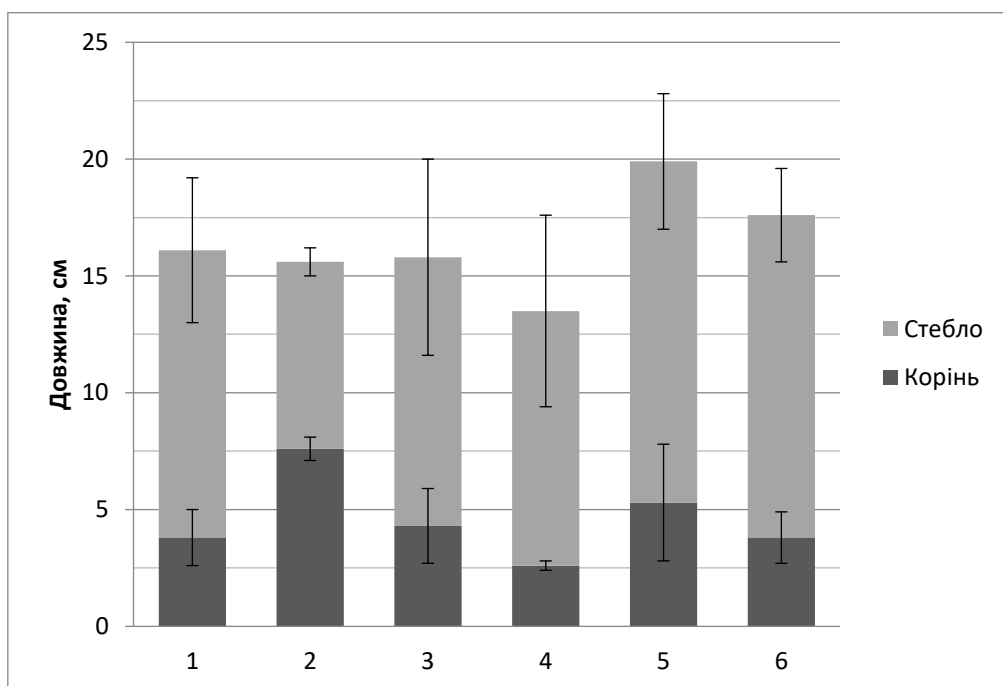
Найбільший приріст біомаси показав штам *B. megaterium* – довжина рослин 19,8±4,2 см. І тут перевага у рості в значній мірі була забезпечена за рахунок більш розвиненої кореневої системи рослин. Що стосується варіанту з інокуляцією *Agrobacterium radiobacter*, то тут знову відмічається досить високий рівень приросту біомаси – 17,7±3,1 см.

Зміна інтенсивності накопичення ¹³⁷Cs рослинами після інокуляції. Наступним



1 – контроль; 2 – контроль + ^{137}Cs (без бактерій); 3 – *A. chroococcum* УКМ В-6003; 4 – *A. chroococcum* УКМ В-6082; 5 – *B. megaterium*; 6 – *Agrobacterium radiobacter*.

Рис. 1 – Морфометричні показники ріпаку, вирощеного після інокуляції мікроорганізмами



1 – контроль; 2 – контроль + ^{137}Cs (без бактерій); 3 – *A. chroococcum* УКМ В-6003; 4 – *A. chroococcum* УКМ В-6082; 5 – *B. megaterium*; 6 – *Agrobacterium radiobacter*.

Рис. 2 – Морфометричні показники пшениці, вирощеної після інокуляції мікроорганізмами

кроком представлено дослідження був аналіз радіоактивності рослин, інокульованих штамами ризосферних бактерій та вирощених на субстраті з ^{137}Cs . З табл. 3 видно, що майже всі експериментальні групи, за винятком групи рослин, інокульованих *Bacillus megaterium*, достовірно відрізняються від контрольної групи.

Серед рослин, інокульованих бактеріями, що використовуються як біопрепарати для стимуляції росту і розвитку рослин,

найбільшою активністю характеризувалися *A. chroococcum* УКМ В-6003, що складала $876,5 \pm 63,2$ Бк/г повітряно-сухої біомаси, або $50,2 \pm 5,0\%$ від активності субстрату [4]. Саме це і є найвищим показником для усіх проаналізованих мікроорганізмів. Щодо мінімальних показників, то вони характерні для *Agrobacterium radiobacter* у всіх варіантів: $495,0 \pm 83,7$ Бк/г для досліду з ріпаком, $71,7 \pm 12,0$ Бк/г для пшениці та $95,3 \pm 11,4$ Бк/г для вики.

Таблиця 3
Накопичення ^{137}Cs рослинами залежно від культури мікроорганізмів, інтродукованих у ризосферу

Рослина	Культура-інокулянт	Питома активність ^{137}Cs у рослинах, Бк/г	% переходу із субстрату в рослини
Ріпак	Контроль + ^{137}Cs (без бактерій)	$593,2 \pm 35,0$	$29,4 \pm 2,9$
	<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6003	$876,5 \pm 63,2$	$50,2 \pm 5,0$
	<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6082	$600,8 \pm 17,9$	$36,3 \pm 3,6$
	<i>B. megaterium</i>	$612,4 \pm 198,6$	$36,8 \pm 3,7$
	<i>Agrobacterium radiobacter</i>	$495,0 \pm 83,7$	$33,2 \pm 3,3$
Пшениця	Контроль + ^{137}Cs (без бактерій)	$101,8 \pm 12,5$	$4,8 \pm 0,5$
	<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6003	$273,8 \pm 28,8$	$17,2 \pm 2,6$
	<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6082	$349,6 \pm 87,1$	$21,7 \pm 7,4$
	<i>B. megaterium</i>	$302,5 \pm 75,8$	$18,0 \pm 2,0$
	<i>Agrobacterium radiobacter</i>	$71,7 \pm 12,0$	$4,1 \pm 1,0$

Таблиця 4
Модифікація коефіцієнта накопичення ^{137}Cs культурою мікроорганізмів

	Культура-інокулянт	Відношення K_n дослідних варіантів до контролю
Ріпак	без бактерій	1*
	<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6003	1,1
	<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6082	1,5
	<i>B. megaterium</i>	1,1
	<i>Agrobacterium radiobacter</i>	0,8
Пшениця	без бактерій	1*
	<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6003	2,7
	<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6082	3,4
	<i>B. megaterium</i>	3,0
	<i>Agrobacterium radiobacter</i>	0,7
Вика посівна	без бактерій	1*
	<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6003	1,0
	<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6082	1,6
	<i>B. megaterium</i>	1,1
	<i>Agrobacterium radiobacter</i>	0,6
	<i>R. leguminosarum</i>	1,1

* – контроль, що був вирощений без бактерій, використовували як базу для порівняння

Питома активність граму повітряно-сухої біомаси є недостатньо репрезентативною характеристикою для аналізу модифікації переходу радіонукліда із субстрату в рослини. Тому вирішено обрахувати відносний показник модифікації K_H , порівнявши питому активність експериментальних рослин із питомою активністю контрольних.

Із отриманих даних (табл. 4) видно, що інокуляція майже всіма штамми збільшує перехід ^{137}Cs у рослини. Винятком став *Agrobacterium radiobacter*, який зменшував перехід радіонукліда в рослини в 1,2 рази при інокуляції ріпаку [4], в 1,4 рази при інокуляції пшениці та в 1,6 разів при інокуляції вики. Отже, можливим виявляється підбір таких штамів мікроорганізмів, застосування яких може зменшувати K_H ^{137}Cs із ґрунту в рослини. У той же час, *A. chroococcum* УКМ В-6082 збільшував накопичення радіонукліду в рослинах пшениці у 3,4 рази і в рослинах вики у 1,6 разів, а *A. chroococcum* УКМ

В-6003 збільшував накопичення ^{137}Cs в рослинах ріпаку в 1,5 разів. Це дає змогу стверджувати, що можливий підбір таких біопрепаратів, що могли б суттєво підвищувати накопичення радіонукліда рослинами, тим самим покращуючи їх здатність до фітодезактивації територій.

Роблячи підсумок, необхідно сказати, що ґрунтові мікроорганізми можуть як знижувати, так і підвищувати накопичення ^{137}Cs в біомасі рослин. У наведених вище дослідженнях вдалося показати, що дана властивість не залежить від локалізації мікроорганізму на поверхні кореня, адже всі проаналізовані бактерії належали до групи таких, що колонізують ризосферу рослини.

З літературних джерел відомо [5], що перехід радіонуклідів у рослини із ґрунту може залежати від наявності або відсутності ґрунтових мікроорганізмів, а саме, в даному випадку наявність мікроорганізмів стимулювала перехід радіонуклідів.

Висновки

Ґрунтові мікроорганізми можуть як знижувати, так і посилювати перехід ^{137}Cs із ґрунту в рослини. Ця властивість не залежить від локалізації мікроорганізмів на поверхні кореня, адже всі проаналізовані штами бактерій належали до групи таких, що колонізують ризосферу рослини.

Мікроорганізми-інокулянти при використанні на бідних елементах живлення ґрунтах прискорюють ріст рослин у довжину, що свідчить про покращення умов їхнього зростання.

В умовах польового дослідження інокуляція насіння ріпаку штамом *A. chroococcum* УКМ В-6082 забезпечила зниження K_H ^{137}Cs майже на 50 % порівняно з контролем. У досліді із пшеницею достовірного зменшення накопичення ^{137}Cs не було.

Застосування комплексів препаратів на основі штамів бактерій *Agrobacterium*

radiobacter ІМВ В-7246 та *A. chroococcum* УКМ В-6082 для інокуляції насіння ріпаку й *Azotobacter chroococcum* УКМ В-6003, можна розглядати як додатковий радіозахисний спосіб блокування надходження ^{137}Cs у ці види сільськогосподарських рослин.

Викладені вище дані дозволяють зробити висновок, що вплив ґрунтових мікроорганізмів є опосередкованим, викликаним розкладом мікроорганізмами складної органіки, що міститься у ґрунті, в той час як безпосередній вплив може бути як позитивним, так і негативним. Очевидним є висновок про перспективність подальших досліджень у даній галузі з метою пошуку і адаптації до умов конкретного ґрунту таких штамів мікроорганізмів, які могли б знижувати (або, залежно від поставленої мети, підвищувати) перехід радіонуклідів у рослини.

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.

Література

1. Dushenkov S. Trends in phytoremediation of radionuclides. *Plant and Soil*. Vol.249. Springer, February.03. C. 167–175. URL: <https://doi.org/10.1023/A:1022527207359>
2. Гудков І. М. Радіобіологія: підручник: Херсон: Олді-Плюс, 2016. 504 с.
3. Gudkov I. N., Gaychenko, V. A., Yu Pareniuk, O., та ін. Changes in biocenoses in the Chernobyl NPP accident zone. *Ядерна фізика та енергетика*. 2011. Vol. 12, No. 4. C. 362–374. URL: http://jnpae.kinr.kiev.ua/12.4/Articles_PDF/jnpae-2011-12-0362-Gudkov.pdf
4. Zhu Y. G., Shaw, G. Soil contamination with radionuclides and potential remediation. *Chemosphere*. 2000. Vol. 41, No. 1–2. C. 121–128. URL: [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(99\)00398-7](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(99)00398-7)
5. Ulanovsky A. Improved dosimetry for animals and plants What does the new ICRP draft publication bring? 2016. URL: <http://www.icrp.org/docs/2016aomori/5%20Ulanovsky.pdf>
6. Steinhäuser G., Brandl A., Johnson T. E. Comparison of the Chernobyl and Fukushima nuclear accidents: A review of the environmental impacts. *Science of The Total Environment*. 2014. Vol. 470–471. C. 800–817. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.029>
7. Vuong, H. V. The use of the integrated soil microcosms to assess accumulation of caesium (Cs) and lead (Pb) from contaminated soils by earthworms (*Eisenia andrei*) and the sunflower (*Helianthus annuus*): RMIT University, Melbourne, Australia. 138c. URL: <http://researchbank.rmit.edu.au/eserv/rmit:160596/Vuong.pdf>
8. Kizilova, a. K., Titova, L. V., Kravchenko, I. K., та ін. Evaluation of the diversity of nitrogen-fixing bacteria in soybean rhizosphere by nifH gene analysis. *Microbiology*. 2012. Vol. 81, No. 5. C. 621–629. URL: <https://doi.org/10.1134/S0026261712050116>
9. Lucy, M., Reed, E., R. Glick, B. Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. *Antonie van Leeuwenhoek*. 2004. Vol. 86, No. 1. C. 1–25. URL: <https://doi.org/10.1023/B:ANTO.0000024903.10757.6e>
10. Song, N., Zhang, X., Wang, F., та ін. Elevated CO₂ increases Cs uptake and alters microbial communities and biomass in the rhizosphere of *Phytolacca americana* Linn (pokeweed) and *Amaranthus cruentus* L. (purple amaranth) grown on soils spiked with various levels of Cs. *Journal of environmental radioactivity*. 2012. Vol. 112. C. 29–37. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2012.03.002>
11. Tang, S., Liao, S., Guo, J., та ін. Growth and cesium uptake responses of *Phytolacca americana* Linn. and *Amaranthus cruentus* L. grown on cesium contaminated soil to elevated CO₂ or inoculation with a plant growth promoting rhizobacterium *Burkholderia* sp. D54, or in combination. *Journal of Hazardous Materials*. 2011. Vol. 198. C. 188–197. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.10.029>
12. Khan, A. G. Role of soil microbes in the rhizospheres of plants growing on trace metal contaminated soils in phytoremediation. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. Elsevier GmbH, 27.June.05. C. 355–364. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2005.02.006>
13. White, C., Gadd, G. M. Biosorption of radionuclides by fungal biomass. *Journal of chemical technology and biotechnology* (Oxford, Oxfordshire: 1986). 1990. Vol. 49, No. 4. C. 331–43. URL: <https://doi.org/10.1002/jctb.280490406>
14. Aung, H. P., Djedidi, S., Yokoyama, T., та ін. Transfer of radiocesium to four cruciferous vegetables as influenced by organic amendment under different field conditions in Fukushima Prefecture. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2015. Vol. 140. C. 148–155. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2014.11.015>
15. Pareniuk, O., Shavanova, K., Lacey, J. P., та ін. Modification of ¹³⁷Cs transfer to rape (*Brassica napus* L.) phytomass under the influence of soil microorganisms. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2015. Vol. 149. C. 73–80. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2015.07.003>
16. Djedidi, S., Kojima, K., Ohkama-Ohtsu, N., та ін. Growth and ¹³⁷Cs uptake and accumulation among 56 Japanese cultivars of *Brassica rapa*, *Brassica juncea* and *Brassica napus* grown in a contaminated field in Fukushima: Effect of inoculation with a *Bacillus pumilus* strain. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2016. Vol. 157. C. 27–37. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.02.024>
17. Pareniuk, O. J., Moshynets, O. V., Tytova, L. V., та ін. Qualitative composition of dominating forms of microorganisms isolated from radionuclide contaminated soil and their ability to accumulate ¹³⁷Cs. *Microbiol. J*. 2013. Vol. 75, No. 1. C. 33–40.
18. Takeda, A., Tsukada, H., Nakao, A., та ін. Time-dependent changes of phytoavailability of Cs added to allophanic Andosols in laboratory cultivations and extraction tests. *Journal of environmental radioactivity*. 2013. Vol. 122. C. 29–36. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2013.02.005>
19. Ghosh, A., Sharma, A., Talukder, G. Effects of cesium on cellular systems. *Biological trace element research*. 1993. Vol. 38, No. 2. C. 165–203. URL: <https://doi.org/10.1007/BF02784052>
20. Гудков, І. М., Вінничук, М. М. Сільськогосподарська радіобіологія: Житомир: ДАУ, 2003. 472с.

21. Beresford, N. A., Smith, J. T. Application of countermeasures: Chernobyl — Catastrophe and Consequences. Springer Berlin Heidelberg. URL: https://doi.org/10.1007/3-540-28079-0_5
22. International Organization of Standardization (ISO). ISO 20042:2019 - Measurement of radioactivity. Gamma-ray emitting radionuclides. Generic test method using gamma-ray spectrometry. 2019. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:20042:ed-1:v1:en>
23. Phillips, G. C., Garda, M. Plant tissue culture media and practices: an overview. Springer New York LLC, 2019. 242–257 p. URL: <https://doi.org/10.1007/s11627-019-09983-5>
24. Nikitin, A. N., Cheshyk, I. A., Gutseva, G. Z., та ін. Impact of effective microorganisms on the transfer of radioactive cesium into lettuce and barley biomass. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2018. Vol. 192. C. 491–497. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.08.005>
25. ASTM International. ASTM E181-98, Standard Test Methods for Detector Calibration and Analysis of Radionuclides / West Conshohocken, PA: 1998. URL: <https://doi.org/10.1520/E0181-98>

References

1. Dushenkov, S. (2003). Trends in phytoremediation of radionuclides. *Plant and Soil*, 249(1), 167–175. <https://doi.org/10.1023/A:1022527207359>
2. Gudkov, I.M. (2016). Radiobiology: a textbook. Kherson: Oldie Plus. (In Ukrainian).
3. Gudkov, I.N., Gaychenko, V. A., Yu Pareniuk, O. & Grodzinsky, D. M. (2011). Changes in biocenoses in the Chernobyl NPP accident zone. *Nuclear physics and energy*, 12(4), 362–374. Retrieved from http://jnpae.kinr.kiev.ua/12.4/Articles_PDF/jnpae-2011-12-0362-Gudkov.pdf
4. Zhu, Y.G., & Shaw, G. (2000). Soil contamination with radionuclides and potential remediation. *Chemosphere*, 41(1–2), 121–128. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(99\)00398-7](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(99)00398-7)
5. Ulanovsky, A. (2016). Improved dosimetry for animals and plants What does the new ICRP draft publication bring? Retrieved from <http://www.icrp.org/docs/2016aomori/5%20Ulanovsky.pdf>
6. Steinhäuser, G., Brandl, A., & Johnson, T. E. (2014). Comparison of the Chernobyl and Fukushima nuclear accidents: A review of the environmental impacts. *Science of The Total Environment*, 470–471, 800–817. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.029>
7. Vuong, H. V. (2013). The use of the integrated soil microcosms to assess accumulation of caesium (Cs) and lead (Pb) from contaminated soils by earthworms (Eisenia andrei) and the sunflower (Helianthus annuus) (RMIT University, Melbourne, Australia.). Retrieved from <http://researchbank.rmit.edu.au/eserv/rmit:160596/Vuong.pdf>
8. Kizilova, A. K., Titova, L. V., Kravchenko, I. K., & Iutinskaya, G. A. (2012). Evaluation of the diversity of nitrogen-fixing bacteria in soybean rhizosphere by nifH gene analysis. *Microbiology*, 81(5), 621–629. <https://doi.org/10.1134/S0026261712050116>
9. Lucy, M., Reed, E., & R. Glick, B. (2004). Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. *Antonie van Leeuwenhoek*, 86(1), 1–25. <https://doi.org/10.1023/B:ANTO.0000024903.10757.6e>
10. Song, N., Zhang, X., Wang, F., Zhang, C., & Tang, S. (2012). Elevated CO₂ increases Cs uptake and alters microbial communities and biomass in the rhizosphere of *Phytolacca americana* Linn (pokeweed) and *Amaranthus cruentus* L. (purple amaranth) grown on soils spiked with various levels of Cs. *Journal of Environmental Radioactivity*, 112, 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2012.03.002>
11. Tang, S., Liao, S., Guo, J., Song, Z., Wang, R., & Zhou, X. (2011). Growth and cesium uptake responses of *Phytolacca americana* Linn. and *Amaranthus cruentus* L. grown on cesium contaminated soil to elevated CO₂ or inoculation with a plant growth promoting rhizobacterium *Burkholderia* sp. D54, or in combination. *Journal of Hazardous Materials*, 198, 188–197. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.10.029>
12. Khan, A. G. (2005). Role of soil microbes in the rhizospheres of plants growing on trace metal contaminated soils in phytoremediation. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 18(4), 355–364. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2005.02.006>
13. White, C., & Gadd, G. M. (1990). Biosorption of radionuclides by fungal biomass. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* (Oxford, Oxfordshire: 1986), 49(4), 331–343. <https://doi.org/10.1002/jctb.280490406>
14. Aung, H. P., Djedidi, S., Yokoyama, T., Suzuki, S., & Bellingrath-Kimura, S. D. (2015). Transfer of radiocesium to four cruciferous vegetables as influenced by organic amendment under different field conditions in Fukushima Prefecture. *Journal of Environmental Radioactivity*, 140, 148–155. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2014.11.015>
15. Pareniuk, O., Shavanova, K., Laceby, J. P., Illienko, V., Tytova, L., Levchuk, S., ... Nanba, K. (2015). Modification of ¹³⁷Cs transfer to rape (*Brassica napus* L.) phytomass under the influence of soil

- microorganisms. *Journal of Environmental Radioactivity*, 149, 73–80. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2015.07.003>
16. Djedidi, S., Kojima, K., Ohkama-Ohtsu, N., Bellingrath-Kimura, S. D., & Yokoyama, T. (2016). Growth and ¹³⁷Cs uptake and accumulation among 56 Japanese cultivars of Brassica rapa, Brassica juncea and Brassica napus grown in a contaminated field in Fukushima: Effect of inoculation with a Bacillus pumilus strain. *Journal of Environmental Radioactivity*, 157, 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.02.024>
 17. Pareniuk, O. J., Moshynets, O. V., Tytova, L. V., & Levchuk, S. E. (2013). Qualitative composition of dominating forms of microorganisms isolated from radionuclide contaminated soil and their ability to accumulate ¹³⁷Cs. *Microbiol. J.*, 75(1), 33–40.
 18. Takeda, A., Tsukada, H., Nakao, A., Takaku, Y., & Hisamatsu, S. (2013). Time-dependent changes of phytoavailability of Cs added to allophanic Andosols in laboratory cultivations and extraction tests. *Journal of Environmental Radioactivity*, 122, 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2013.02.005>
 19. Ghosh, A., Sharma, A., & Talukder, G. (1993). Effects of cesium on cellular systems. *Biological Trace Element Research*, 38(2), 165–203. <https://doi.org/10.1007/BF02784052>
 20. Gudkov, I.M. & Vinnychuk, M.M. (2003). Agricultural radiobiology. Zhytomyr: DAU. (In Ukrainian).
 21. Beresford, N. A., & Smith, J. T. (n.d.). Application of countermeasures. In Chernobyl — Catastrophe and Consequences (pp. 191–215). https://doi.org/10.1007/3-540-28079-0_5
 22. International Organization of Standardization (ISO). (2019). ISO 20042:2019 - Measurement of radioactivity. Gamma-ray emitting radionuclides. Generic test method using gamma-ray spectrometry. In International Standard. Retrieved from <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:20042:ed-1:v1:en>
 23. Phillips, G. C., & Garda, M. (2019). Plant tissue culture media and practices: an overview. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*, 55, 242–257. <https://doi.org/10.1007/s11627-019-09983-5>
 24. Nikitin, A. N., Cheshyk, I. A., Gutseva, G. Z., Tankevich, E. A., Shintani, M., & Okumoto, S. (2018). Impact of effective microorganisms on the transfer of radioactive cesium into lettuce and barley biomass. *Journal of Environmental Radioactivity*, 192, 491–497. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.08.005>
 25. ASTM International. (1998). ASTM E181-98, Standard Test Methods for Detector Calibration and Analysis of Radionuclides. <https://doi.org/10.1520/E0181-98>

Надійшла: 10.10.2010

Прийнято: 20.10.2020

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, російською 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 та звання (розмір 11, по центру), повну назву установи та її адреса, e-mail та <https://orcid.org/> усіх співавторів (розмір 10, по центру).

Подати прізвище та ініціали співавторів, назву установи, назву статті, анотацію та ключові слова українською, англійською й російською мовами: розмір 10, міжрядковий інтервал 1,0. Ключові слова 5-7 без слів, що входять у назву.

Анотація має бути структурованою для експериментальних робіт, тобто обов'язково вказати: **Мета. Методи. Результати. Висновки.;** **Purpose. Methods. Results. Conclusions.;** **Цель. Методы. Результаты. Выводы.**

Текст статті має відповідати вимогам ВАК

Література обов'язково оформляється за ДСТУ 8302:2015, повинна містити також джерела, що опубліковані не більше 5 років тому: розмір 10, міжрядковий інтервал 1,0. Кількість посилань має бути не менше 15. Обов'язково вказувати URL. або URLeлектронну адресу посилань.

Нижче подається перелік посилань (**References**), переклад англійською мовою. Посилання необхідно оформляти згідно міжнародного бібліографічного стандарту APA (American Psychological Association). Вказувати обов'язково DOI (or Retrieved from).

Посилання на джерела давати у прямокутних дужках [] із зазначенням порядкового номера в порядку посилання у тексті, а в окремих випадках і сторінок.

Адреса редакції:

екологічний факультет, 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. 23**

Збірник наукових праць

Українською, російською та англійською мовами

Макетування та комп'ютерне верстання
Баскакова Л. В.

Підписано до друку 29.10.2020 Формат 60 x 84 ¹/₈ . Папір офсетний.
Друк ризографічний

Ум. друк. арк. 15,3. Обл.-вид. арк. 17,6
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