

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 22**

VISNYK  
of V. N. KARAZIN  
KHARKIV NATIONAL  
UNIVERSITY

**SERIES «ECOLOGY»**

**Issue 22**

ВЕСТНИК  
ХАРЬКОВСКОГО  
НАЦИОНАЛЬНОГО  
УНИВЕРСИТЕТА  
имени В. Н. КАРАЗИНА

**СЕРИЯ «ЭКОЛОГИЯ»**

**Выпуск 22**

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 8 від 27.04.2020 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;

**Едіріппуліге 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](mailto: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 8, dated April 27, 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 8 от 27.04.2020 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;

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

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

**Кривцов В.**, д-р философии, Единбургский университет, Великобритания;

**Кульбачко Ю. Л.**, д-р биол. наук, проф., Днепропетровский национальный университет имени Олеся 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., ННЦ «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., ННЦ «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*

<b>Ачасова А. О.</b> Сучасні підходи до еколого-економічної оцінки збитків від ерозії ґрунтів.....	8
<b>Максименко Н. В., Шумілова А. В., Калиновський О. І.</b> Екологічна цінність заплави річки Мерла для функціонування НПП «Слобожанський».....	21

## *ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА*

<b>Некос А. Н., Шуліка Б. О., Мальчук О. В.</b> Екологічна безпека та якість рослинних продуктів харчування (на прикладі винограду).....	32
<b>Громик О. М.</b> Радіологічна оцінка водойм зони радіоактивного забруднення Волинської області.....	43
<b>Гетманець О. М., Пеліхатий Н. М., Переверзєв Б. Г.</b> Дослідження радіаційного фону на території історичного центру м. Харкова.....	54
<b>Буц Ю. В., Крайнюк О. В., Некос А. Н., Барбашин В. В.</b> Пірогенний вплив на хвойні деревостани в умовах техногенно-екологічного навантаження.....	65
<b>Коваль І. З.</b> Вплив кисню та вуглекислого газу на очищення води від бактерій та дріжджів в кавітаційних умовах.....	75

## *БІОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ*

<b>Крайнюкова А. М., Крайнюков О. М., Кривицька І. А.</b> Використання фотосинтетичної активності водоростей задля оцінки токсичності з метою створення портативного пристрою.....	82
--	----

## *ДОСЛІДЖЕННЯ РЕКРЕАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ*

<b>Гончарук О. М., Кукуруза О. Є., Потрохов А. О.</b> Стан фітоценозу у парку природи «Беремицьке».....	93
--	----

## *ЕКОЛОГІЧНА ОСВІТА*

<b>Назарук М. М.</b> Соціоприродний підхід до екологічної освіти та виховання.....	100
<b>Правила для авторів.....</b>	107

## CONTENTS

### *ECOLOGICAL RESEARCHES OF GEOSYSTEM*

<b>Achasova A. O.</b> Modern Approaches to Environmental and Economic Estimation of Damage From Soil Erosion.....	8
<b>Maksymenko N. V., Shumilova A.V., Kalinovsky O. I.</b> Ecological Value of the Merla River Floodplain for the Functioning of Slobozhanskyi National Nature Park.....	21

### *ENVIRONMENTAL ECOLOGICAL SAFETY*

<b>Nekos A. N., Shulika B. O., Malchuk O. V.</b> Environmental Safety and Quality of Plant Food (Example of Grapes).....	32
<b>Hromyk O. M.</b> Radiological Assessment of Reservoirs in Volyn Region that is Under Radioactive Contamination.....	43
<b>Getmanets O. M., Pelikhaty N. M., Pereverzev B. G.</b> The Radiation Background Research on the Kharkiv Historical Center Territory.....	54
<b>Buts Y. V., Kraynyuk O. V., Nekos A. N., Barbachyn V. V.</b> Pyrogenic Influence on Pine Stands in the Conditions of Technogenic and Environmental Load.....	65
<b>Koval I. Z.</b> Influence of Oxygen and Carbon Dioxide on Water Purification from Bacteria and Yeast Under Cavitation Conditions.....	75

### *BIOLOGICAL RESEARCH*

<b>Krainiukova A. M., Krainiukov O. M., Krivitska I. A.</b> The Use of Algae's Photosynthetic Activity in Toxicity Assessment with the Purpose of Creating Portable Devices.....	82
--	----

### *RESEARCH OF RECREATIONAL RESOURCES*

<b>Goncharuk O. M., Kukuza O. E., Potrokhov A. O.</b> State o Phytocenosis in Beremytske Nature Park.....	93
--	----

### *ENVIRONMENTAL EDUCATION*

<b>Nazaruk M. M.</b> Socio-Natural Approach to the Environmental Education and Training.....	100
<b>Instructions for Authors</b> .....	107

## СОДЕРЖАНИЕ

### *ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОСИСТЕМ*

<b>Ачасова А. А.</b> Современные подходы к эколого-экономической оценке ущерба от эрозии почвы.....	8
<b>Максименко Н. В., Шумилова А. В., Калиновский А. И.</b> Экологическая ценность поймы реки Мерла для функционирования НПП «Слобожанский».....	21

### *ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ*

<b>Некос А. Н., Шулика Б. А., Мальчук О. В.</b> Экологическая безопасность и качество растительных продуктов питания (на примере винограда).....	32
<b>Громик О. Н.</b> Радиологическая оценка водоемов зоны радиоактивного загрязнения Волынской области.....	43
<b>Гетманец О. М., Пелихатый Н. М., Переверзев Б. Г.</b> Исследование радиационного фона на территории исторического центра г. Харькова.....	54
<b>Буц Ю. В., Крайнюк Е. В., Некос А. Н., Барбашин В. В.</b> Пирогенное влияние на хвойные древостой в условиях техногенно-экологической нагрузки.....	65
<b>Коваль И. З.</b> Влияние кислорода и углекислого газа на очистку воды от бактерий и дрожжей в кавитационных условиях.....	75

### *БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ*

<b>Крайнюкова А. Н., Крайнюков А. Н., Кривицкая И. А.</b> Использование фотосинтетической активности водорослей для оценки токсичности с целью создания портативного устройства.....	82
---	----

### *ИССЛЕДОВАНИЯ РЕКРЕАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ*

<b>Гончарук О. М., Кукуруза О. Є., Потрохов А. О.</b> Состояние фитоценоза в парке природы «Беремицкое».....	93
---	----

### *ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ*

<b>Назарук Н. Н.</b> Социоприродный подход к экологическому образованию и воспитанию.....	100
<b>Правила для авторов</b> .....	107

## ЕКОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОСИСТЕМ

УДК (UDC) 502:338.43(14)

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-22-01>

**А. О. АЧАСОВА** канд. біол. наук, доц.

Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського»  
вул. Чайковського, 4, 61024, м. Харків, Україна

e-mail: [achasova@ukr.net](mailto:achasova@ukr.net)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6294-2445>

### СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ ОЦІНКИ ЗБИТКІВ ВІД ЕРОЗІЇ ҐРУНТІВ

**Актуальність.** Незважаючи на майже вікову історію оцінок збитків від ерозії, це питання дотепер остаточно не вирішене. Якщо економічна складова збитків може бути відносно легко підрахована, то екологічні та соціально-екологічні збитки майже не піддаються вартісному обрахуванню.

**Мета.** На підставі аналізу екологічних, економічних та соціальних наслідків водної ерозії ґрунтів та світового досвіду оцінки збитків від ерозії показати можливості та обмеження використання окремих показників для оцінки збитків та еколого-економічного обґрунтування протиерозійних заходів.

**Результати.** Збитки від ерозії на сьогодні найчастіше вимірюються за обсягом втраченого ґрунту (т/га), вартістю відновлення втрачених поживних речовин та органічної речовини, а також вартістю сільськогосподарської продукції, недоотриманої внаслідок зниження врожайності на еродованих ґрунтах та виведення земель з обробітку. Втрати ґрунту, як правило, оцінюються за результатами математичного моделювання. Різні підходи до оцінки збитків дають розбіжність оцінок в десятки разів, що знижує довіру до них при прийнятті рішень. Землекористувачі не зацікавлені вкладати в протиерозійні заходи більше, ніж вартість врожаю, який вони зможуть додатково отримати. В Україні це призводить до фактичного нехтування проблемою ерозії, яка самопідсилюючись за принципом позитивного зворотного зв'язку, призводить до поглиблення соціально-економічних проблем та погіршення продовольчої безпеки.

**Висновки.** Для обґрунтування протиерозійних заходів на рівні землекористувачів єдиним достовірним джерелом підрахунку потенційних збитків від ерозії є недобір сільськогосподарської продукції та втрата органічної речовини ґрунту та добрив. Реальні збитки від ерозії лежать в площині глобальних екологічних процесів та продовольчої безпеки, отже проблема ерозії має вирішуватись на загальнодержавному рівні.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** деградація ґрунту, еколого-економічна оцінка, ерозія ґрунту, збитки від ерозії, продовольча безпека

**Achasova A. O.**

*National Scientific center «A. N. Sokolovsky Institute of Soil Science and Agrochemistry»*

### MODERN APPROACHES TO ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC ESTIMATION OF DAMAGE FROM SOIL EROSION

**Actuality.** Despite a nearly century-old history of erosion damage assessments, this issue has not yet been finally resolved. If the economic component of losses can be relatively easily calculated, then environmental and socio-environmental damage are almost impossible to calculate.

**Purpose.** To show the possibilities and limitations of using individual indicators for assessment of damage and the environmental and economic justification of anti-erosion measures based on analysis of the environmental, economic and social consequences of soil erosion, and world experience in assessing damage from erosion.

**Results.** Losses from erosion today are most often estimated by the mass of washed soil (t / ha), the cost of restoring lost nutrients and organic matter, as well as the cost of agricultural products lost due to reduced

© Ачасова А. 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/).

yields on eroded soils and stop cultivation of hard eroded soils. Soil losses are usually estimated by mathematical modeling. Different approaches to the assessment of losses give a ten-fold difference in the estimates, which reduces the credibility of them when making decisions. Land users are not interested in investing in anti-erosion measures more than the cost of the crop, which they can additionally receive. In Ukraine, this leads to a de facto neglect of the problem of erosion, which, developing on the principle of positive feedback, leads to the deepening of socio-economic problems and the deterioration of the country's food security

**Conclusions.** To justify anti-erosion measures at the level of land users, the only reliable source for quantifying the potential damage from erosion is the shortage of agricultural products and the loss of soil organic matter and fertilizers. The real damage from erosion lies in the plane of global environmental processes and food security, therefore, the problem of erosion should be addressed at the national level.

**KEYWORDS:** degradation, environmental and economic assessment, soil erosion, erosion losses, food security

**Ачасова А. А.**

*Национальный научный центр «Институт почвоведения и агрохимии имени А. Н. Соколовского»*

### **СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ УЩЕРБА ОТ ЭРОЗИИ ПОЧВЫ**

**Актуальность.** Несмотря на почти вековую историю оценок ущерба от эрозии, этот вопрос до сих пор окончательно не решен. Если экономическая составляющая убытков может быть относительно легко подсчитана, то экологический и социально-экологический ущерб почти не поддаются стоимостному подсчету.

**Цель.** На основании анализа экологических, экономических и социальных последствий водной эрозии почв, и мирового опыта оценки ущерба от эрозии показать возможности и ограничения использования отдельных показателей для оценки ущерба и эколого-экономического обоснования противоэрозионных мероприятий.

**Результаты.** Убытки от эрозии сегодня чаще всего оцениваются по массе смытой почвы (т/га), стоимости восстановления утраченных питательных веществ и органического вещества, а также стоимости сельскохозяйственной продукции, недополученной вследствие снижения урожайности на эродированных почвах и вывода земель из обработки. Потери почвы, как правило, оцениваются по результатам математического моделирования. Различные подходы к оценке убытков дают расхождение оценок в десятки раз, что снижает доверие к ним при принятии решений. Землепользователи не заинтересованы вкладывать в противоэрозионные мероприятия больше, чем стоимость урожая, который они смогут дополнительно получить. В Украине это приводит к фактическому пренебрежению проблемой эрозии, которая развиваясь по принципу положительной обратной связи, приводит к углублению социально-экономических проблем и ухудшению продовольственной безопасности страны.

**Выводы.** Для обоснования противоэрозионных мероприятий на уровне землепользователей единственным достоверным источником количественной оценки потенциального ущерба от эрозии является недобор сельскохозяйственной продукции и потери органического вещества почвы и удобрений. Реальный ущерб от эрозии лежит в плоскости глобальных экологических процессов и продовольственной безопасности, следовательно, проблема эрозии должна решаться на общегосударственном уровне.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** деградация почв, эколого-экономическая оценка, эрозия почвы, ущерб от эрозии, продовольственная безопасность

## **Вступ**

Водна ерозія ґрунтів є одним з найпоширеніших деградаційних процесів в світі. За даними [1] водній ерозії піддано до 40% території Азії, 30% земель в Африці, 25% в Європі та 35% – в Америці. Захист ґрунтів від ерозії полягає в застосуванні спеціально розробленого для конкретних умов комплексу агротехнічних, гідротехнічних, агролісомеліоративних та організаційно-господарських заходів. При цьому, одним із головних чинників, що лімітують використання протиерозійних заходів є економічна доцільність їх застосування.

В ринкових умовах землевласники та землекористувачі мають бути зацікавлені у

проведенні протиерозійних заходів, отже економічний ефект від їх застосування не може бути меншим за їх вартість. Економічне обґрунтування протиерозійних заходів є обов'язковою умовою їх впровадження та воно дає змогу визначити головні кількісні критерії, за якими визначається доцільність застосування протиерозійних заходів та їх підбір для певної території. Вартісне обрахування шкоди від ерозійних процесів є нетривіальним завданням, оскільки значна частина збитків, що завдаються ерозією навколишньому середовищу не підлягає коректному обрахуванню. Незважаючи на складність, та певну невизначеність розрахунків

економічних та екологічних збитків від ерозії ґрунтів, вони є необхідною умовою вибору стратегії протиерозійного захисту території та економічного стимулювання діяльності з охорони ґрунтів.

Питанню економічної оцінки наслідків водної ерозії та ефективності протиерозійних заходів дослідники приділяли увагу майже з початку розвитку ерозієзнавства. В США перші спроби оцінки збитків від ерозії припадають на тридцять років ХХ сторіччя, коли ерозія ґрунтів стала одною з причин занепаду сільськогосподарства країни [2], у відповідь на що у 1933 р. з ініціативи Х. Беннетта була створена служба ерозії ґрунтів «Soil Erosion Service»), яка в подальшому перетворилася в потужну Службу охорони ґрунтів - SCS (Soil Conservation Service). Х. Беннетт грав провідну роль у створенні SCS та боротьбі із ерозією ґрунтів в США на протязі 1920-1950рр. Він поклав багато зусиль на пропаганду необхідності боротьби із ерозією ґрунтів, та зокрема, він оприлюднив одну з перших робіт в світі [3], в яких піднімається питання збитків, що завдаються ерозійними процесами господарству.

Впродовж ХХ сторіччя розвиток ерозієзнавчих досліджень проходив в двох основних напрямках:

- по-перше, накопичення емпіричних даних про втрати ґрунту за різних комбінацій умов «ґрунт-рельєф-агрофон» за допомогою вимірювання обсягів поверхневого та ґрунтового стоку на стокових майданчиках при природному формуванні поверхневого стоку та при штучному дощуванні, а також шляхом вимірювання втрат ґрунту через визначення об'ємів розмивів після конкретних ерозійних подій;

- по-друге, розвитку методів математичного моделювання ерозійних процесів.

Математичні моделі, що дозволяють прогнозувати втрати ґрунту залежно від умов «ґрунт – клімат – рельєф – агрофон» розроблялись на основі накопиченого емпіричного матеріалу та стали новим етапом розвитку теорії та практики ерозієзнавства [4-7]. Паралельно з цим постійно піднімалися питання економічного обґрунтування застосування протиерозійних заходів.

Так, матеріали загальносоюзної конференції «Теоретичні основи протиерозійних заходів», що проходила в м. Одеса в 1979 р. містять окремих розділ «Економічна оцінка збитків від водної ерозії і ефективність протиерозійних заходів». Експериментальні дослідження щодо економічної оцін-

ки збитків від ерозії були спрямовані на встановлення обсягів втрат врожаю на еродованих землях та, навпаки, приросту врожаю за умов застосування протиерозійних заходів [8-9].

Матеріали експериментальних досліджень 70-80х років ХХ сторіччя є унікальними за своїм обсягом та працемісткістю та досі не втратили наукового та практичного значення. Так, в роботі Льєва та Гордієнко [8] був проведений аналіз зниження врожайності сільськогосподарських залежно від еродованості ґрунтів. Вони показали, що врожайність основних зернових культур на еродованих ґрунтах знижується. Відносно врожайності на не еродованих ґрунтах, що приймають за 100%, вона складає – 71-83% на слабозмитих, 39-48% на середньозмитих та 26-41% на сильнозмитих ґрунтах. За їх підрахунками на 1978 рік недобір врожаю на еродованих землях складав 40 млн. ц [8]. Вже в сімдесяті роки минулого сторіччя оцінку зниження родючості проводили як за прямим вимірюванням продуктивності ґрунтів через врожайність основних сільськогосподарських культур, так і через зміну бонітету ґрунтів. Так, В. М. Любин [9] розміри збитку від ерозії пропонував визначати через втрати чистого прибутку від зниження родючості ґрунту, тобто втрати продукції на ґрунтах різного ступеня еродованості та повністю зруйнованих внаслідок яроутворення. Такий підхід пройшов випробовування часом та досі використовується як один з основних.

В другій половині ХХ сторіччя з ростом уваги світової спільноти до екологічних проблем, все більшого значення набуває врахування екологічного впливу будь-якої діяльності, та мова йде вже про оцінку не лише економічних, а й екологічних збитків від ерозії ґрунтів та еколого-економічне обґрунтування протиерозійних заходів.

Однак, як підкреслювалось в рішенні Глобального симпозиуму з ерозії ґрунтів (GSER2019), що проходив в Римі 15-17 травня 2019 року, хоча ерозія ґрунту – це глобальне і добре відоме явище, яке потрібно вирішувати в різних масштабах, світова спільнота визнає, що ерозія є складною проблемою, оскільки має наслідки як у місцях прояву, так і поза межами ділянок [10]. І що це ускладнює її оцінку, особливо економічну.

На думку експертів ФАО [11] розрахункові втрати ґрунту внаслідок ерозії складають від 20 до 50 Гт/рік. Однак, як вказується в звіті ФАО 2015 року щодо стану ґру-

нтів Світу [11], на глобальному рівні оцінка розміру збитків від ерозії за даними різних авторів, коливається в межах от 20 до 200 Гт/рік, що свідчить про недосконалість методів оцінки.

В рішенні GSER2019 [10] підкреслено, що наслідки ерозії ґрунту часто не визнаються землевласниками та землекористувачами, особливо у випадку сільського господарства з високими інвестиціями, коли ерозія не обов'язково призводить до помітних втрат продуктивності впродовж короткого терміну. Однак у довгостроковій перспективі наслідки ерозії для суспільства є руйнівними, і пов'язані з цим витрати можуть бути величезними. Саме таке невизнання очевидно гострої проблеми ерозійної деградації ґрунту є характерним, за нашим досвідом спілкування з землекористувачами різних рівнів, і для України, де щорічні збитки від

ерозії оцінюються на рівні 6 млрд. доларів США [7].

За оцінками [12] в світовому масштабі ерозія ґрунтів спричиняє щорічне зниження виробництва продовольства (тобто недоотримання продукції) на 33,7 млн. тон. В умовах все більшого загострення продовольчої проблеми на тлі постійного зростання чисельності населення Землі це досить вагома причина для боротьби із ерозією та відновлення еродованих ґрунтів.

Мета – на підставі аналізу екологічних, економічних та соціальних наслідків водної ерозії ґрунтів та існуючого досвіду оцінки збитків від ерозії показати можливість та обмеження використання окремих показників для оцінки збитків та еколого-економічного обґрунтування ґрунтоохоронних заходів.

### Результати дослідження та їх обговорення

На теперішній час ключовим моментом у визначенні збитків від ерозії ґрунтів є виділення двох груп збитків – «on-site» – збитки безпосередньо на місці події, на полі та «off-site» – зовнішні збитки, що спричиняються поза межами поля. Це є визнаною загальносвітовою практикою, та такий поділ використовується в більшості відомих робіт з оцінки збитків [10, 11, 13, 14], в тому

числі він використовувався як базове поняття в матеріалах GSER2019. В таблиці 1 наведено узагальнене за літературними джерелами та міркуваннями автора уявлення про збитки від ерозії ґрунтів за їх видами.

Як видно з таблиці 1, ерозія ґрунтів призводить до широкого кола збитків, яке може бути подане у вигляді розгалуженої схеми причинно-наслідкових зв'язків (рис. 1)

**Таблиця 1**  
**Класифікація збитків від ерозії залежно від джерела та місця їх виникнення**  
**(за узагальненими даними)**

<b>on-site збитки</b>	<b>off-site збитки</b>
Втрати ґрунту (зниження потужності родючого шару ґрунту); втрати поживних речовин; втрати органічної речовини; зниження родючості ґрунтів, пов'язане із погіршенням їх фізичних та біологічних властивостей та зниженням вмісту поживних речовин; зниження врожайності на еродованих землях; втрата продуктивності; скорочення площ, придатних для вирощування сільськогосподарських культур (виведення земель з обробітку); зростання витрат пального на обробіток еродованих ділянок; пришивидчення зносу техніки	Замулення водойм, джерел, заплав, та об'єктів інфраструктури; затоплення та підтоплення; забруднення води та евтрофікація водойм, погіршення якості води; зниження та втрата біорізноманіття; зниження здатності водних об'єктів до накопичення вологи; зсуви; руйнування автошляхів, залізниць, водних шляхів та іншого суспільного майна; негативні наслідки очищення води; негативні наслідки в галузі гідроенергетики; зниження запасів продовольства; підвищення цін на продовольство; та відповідне ослаблення продовольчої безпеки; обмеження рекреаційної діяльності на водних об'єктах; додаткове надходження парникових газів в атмосферу та глобальне потепління

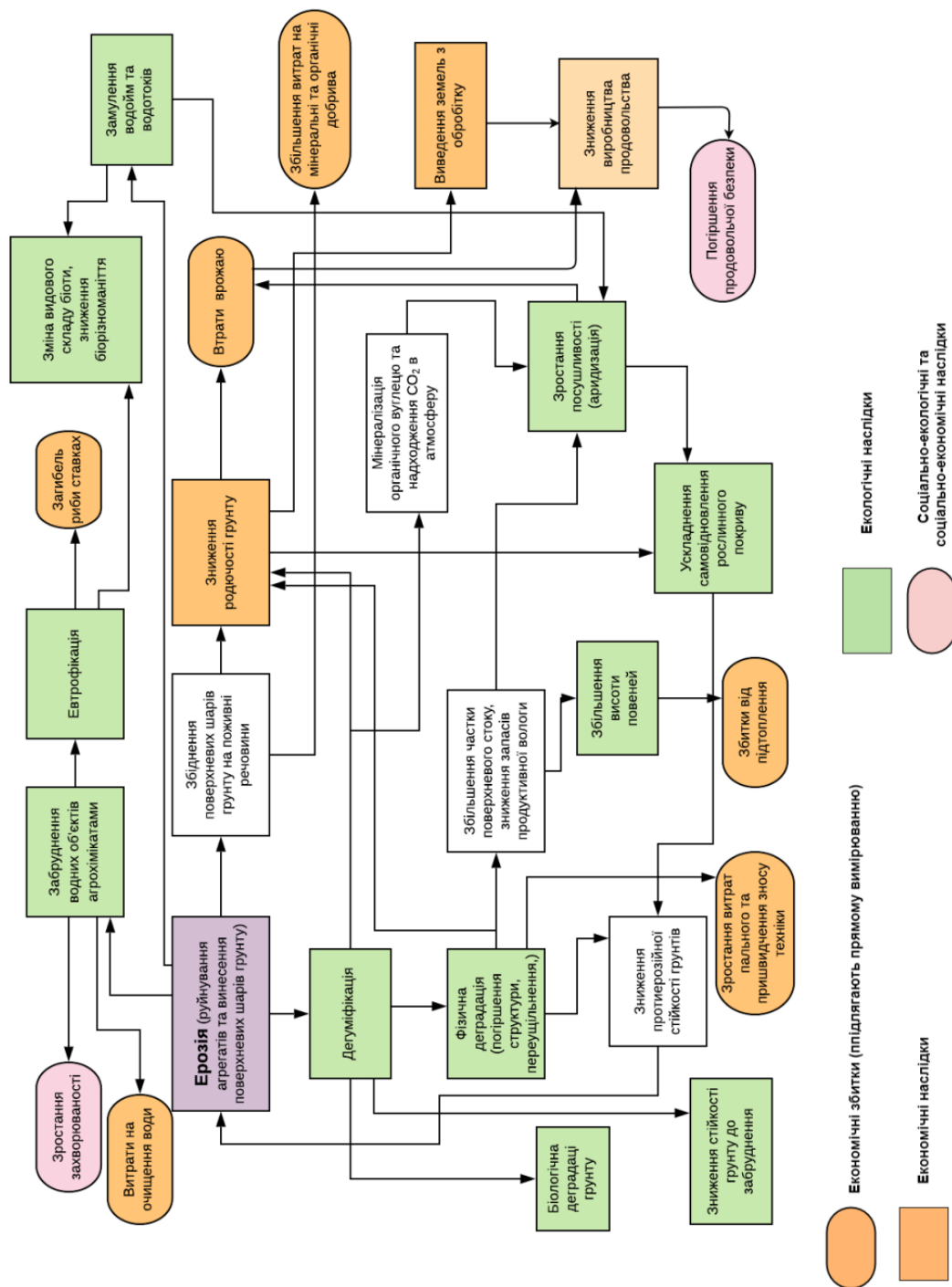


Рис. 1 – Наслідки водної ерозії ґрунтів



яка демонструє зв'язок ближніх та більш віддалених наслідків ерозії та посилення ерозійних процесів за принципом позитивного зворотного зв'язку внаслідок зниження протиерозійної стійкості ґрунту з наростанням його еродованості.

Відрив та винесення за межі поля часток ґрунту призводить до збіднення ґрунту на поживні елементи та гумус, що в свою чергу призводить до втрат врожаю, погіршення його якості, подальшої фізичної та біологічної деградації ґрунту, що, в свою чергу, тягне за собою подальше наростання еродованості, погіршення рівня продовольчої безпеки та загострення екологічних проблем. Далеко не кожен з цих збитків може бути оцінений в грошовому еквіваленті. Саме тому при оцінці ефективності протиерозійних заходів зазвичай використовують термін «еколого-економічна оцінка» чи «еколого-економічне обґрунтування». Економічна оцінка базується, в першу чергу на оцінці втрат врожаю, чи збитків від втрат матеріальних ресурсів. Екологічна оцінка зазвичай здебільшого якісна, або експертна.

За глобальними оцінками маже всі регіони світу зазнають економічних збитків від ерозії ґрунтів. Зниження продуктивності сільського господарства, що виникає внаслідок погіршення фактору ґрунту, має майже однозначний негативний економічний вплив в усьому світі. У грошовому вираженні це становить втрату приблизно 8 млрд. доларів США ВВП [12].

Загалом, як відмічено в матеріалах GSER19 [10], найвищі втрати продуктивності на сільськогосподарських угіддях відбуваються там, де рівень ерозії найвищий, а найбільші економічні збитки фіксуються в тих державах, де сільське господарство забезпечує високий відсоток ВВП. Очевидно, що серед них є і Україна, в якій доля аграрного сектору у формуванні ВВП в останні роки значно зросла і сягнула у 2018 році 13,6% [15], і де ерозії ґрунтів піддані до 32% площі території [7].

Треба зазначити, що узагальнення досвіду економічних оцінок втрат від ерозії показує значні розбіжності даних, що отримуються, та відсутність загальноприйнятого підходу (табл. 2).

Таблиця 2

Оцінка збитків від ерозії за різними авторами

Втрати, що вимірювались	Обсяг втрат та одиниці	Збитки (долар/рік)	Країна	Джерело
Поживні речовини (NPK), та ґрунт	$3 \cdot 10^9$ т/рік	$40 \cdot 10^6$	США	Bennett, 1933 [3]
Поживні речовини (NPK), продуктивність та ґрунт	0,9-26,6 т/га у рік	$27-1,5 \cdot 10^5$ (з 1 га)	Бразилія	Marques, 1961 [16]
Продуктивність культур та втрата ґрунту	10-15 т/га/ рік	$500 \cdot 10^6$	Мексика	Margulis, 1992 [18]
Органічний вуглець (C), CO <sub>2</sub> , осад	1,42 т С/га/ рік	$156 \cdot 10^6$	Велика Британія	Pretty et al, 2000 [19]
Органічний вуглець (C), NPK, Втрати ґрунту	0,5-100.5-10 т/га/ рік	$45,4 \cdot 10^9$	ЄС	Montanarella, 2007 [20]
Втрати ґрунту	0,5-10 т/га/ рік	166-409 (з 1 га)	ЄС	Kuhlman et al., 2010 [21]
Втрати ґрунту	До $5 \cdot 10^8$ т/рік	$>6 \cdot 10^9$	Україна	Наукові..., 2010 [7]
Втрати ґрунту	$20-30 \cdot 10^9$ т/рік	-	Світ	FAO, 2015 [11]
Втрати ґрунту		$1,7 \cdot 10^9$	ЄС	Panagos et al., 2018 [22]
Втрати ґрунту	$4,52 \cdot 10^9$ т/рік	$29,4 \cdot 10^9$	КНР	Wang et al., 2019 [23]
Втрати ґрунту	$1,18 \cdot 10^9$ т/рік	$5,2 \cdot 10^9$	Бразилія	Polidoro et al., 2019 [24]
Втрати ґрунту	11,9 т/га/рік	$732,7 \cdot 10^9$	Азія	Thomas et al., 2019 [25]
Поживні речовини (NPK)	$5,2 \cdot 10^6$ т/рік	$127 \cdot 10^9$	Африка	Thomas et al., 2019 [25]
Втрати ґрунту	3,5-22,7 т/га/рік	$3 \cdot 10^9$	Канада	Badreldin et al., 2019 [26]

еколого-економічної оцінки збитків від ерозії ця, проблема все ще лишається невирішеною.

Для встановлення розміру збитків від ерозії провідне значення мають 2 групи факторів, (табл. 3) які можна охарактеризувати

як об'єктивні, що зумовлюють інтенсивність ерозійних процесів та визначають реально існуючий (фактичний) обсяг збитків; та суб'єктивні, які зумовлені адекватністю обраного методу оцінювання реальним умовам проходження ерозійного процесу

Таблиця 3

**Чинники, що зумовлюють розрахунковий обсяг збитків від ерозії**

<b>Чинники, що впливають на результат розрахунку</b>	
<b>Об'єктивні</b>	<b>Суб'єктивні</b>
Кліматичні; Орографічні (рельєф); Ґрунтові (ерозійна стійкість ґрунтів); Антропогенні (структура угідь, характер використання земель); Біологічні (рослинний покрив, біологічна активність ґрунту тощо);	Обраний метод розрахунку збитків; методи розрахунку окремих показників, на підставі яких оцінюються збитки; обрана розрахункова модель прогнозу змиву; повнота врахування статей втрат (збитків); точність інформаційної основи (детальність ЦМР, достовірність ґрунтових та кліматичних даних, врахування неоднорідності ґрунтів; точність інтерполяції та апроксимації даних);

При чому, залежно від обраного для обрахунку збитків підходу, кількісна оцінка збитків може відрізнятись в декілька разів. Так, в роботі [27] показано, що розмір збитків, оцінений на підставі зміни внаслідок ерозії розрахункових показників вартості земельних ресурсів може варіювати, залежно від параметру оцінки в 1,2-12,7 разів. Причому мінімальні розбіжності відносно середньозваженої оцінки (91%) встановлені для оцінок за розчленуванням території ярами, а максимальні (314%) для оцінок за зменшенням глибини ґрунтового профілю. Наведені В. А. Юрловою [27] дані свідчать, що точність оцінок, які базуються на розрахункових показниках вартості земельних ресурсів є незадовільною. Що, на нашу думку, викликано тим, що при таких оцінках відбувається «накопичення помилки» - за рахунок сумарної похибок суб'єктивних оцінок окремих показників, що включені у загальну оцінку збитків.

В Україні також, як показано в роботі О. Л. Попової [28], оцінки збитків від деградації земель, в тому числі, водної ерозії, базуються на двох показниках – втратах гумусу та недоборі врожаю. У різних авторів ці оцінки значно різняться між собою і є, переважно, експертними.

Ще один підхід до економічної оцінки збитків від деградації земель продемонстрований в монографії О. В. Шевченка та А.

Г. Мартина [29]. Він полягає у введенні розрахункових поправкових коефіцієнтів на деградованість земель до їхньої бонітетної оцінки з урахуванням гранулометричного складу, при якому ступінь деградації ґрунтів визначається за назвами їхніх агропробних груп. На думку авторів, такий підхід для оцінки впливу ступеня деградації на бонітетну оцінку ґрунтів може використовуватись не тільки для всієї території України, але й для адміністративних областей, природно-сільськогосподарських зон, провінцій, округів і районів. Однак, ми вважаємо, що такі оцінки можна охарактеризувати як «орієнтовні» та для вартісної оцінки збитків від ерозії їх точності недостатньо.

На нашу думку [30] збитки від ерозії доцільно поділяти не лише за місцем виникнення та дії, а і за терміном та періодичністю дії на:

1) «Постійні» збитки на еродованих землях (враховуються як непрямі витрати), що відбуваються внаслідок:

а) щорічного недоотримання прибутку від реалізації сільськогосподарської продукції, що вирощується на еродованих землях. Ступінь зниження врожайності сільськогосподарських культур пропорційна змитості ґрунтів та може бути розрахована для конкретних полів з урахуванням плямистості території як середньозважений показник зниження врожайності;

б) щорічного неотримання прибутку із земель, виведених з виробництва внаслідок ерозії;

в) опосередкованих екологічних та економічних збитків за рахунок зниження стійкості ґрунтів до ерозії та підсилення змиву ґрунту на еродованих ґрунтах (прямо не враховуються, але в подальшому впливають на оцінку прямих та непрямих витрат через зміну якісних та кількісних характеристик ґрунту).

2) «Ситуативні» збитки – втрати ґрунту та частини врожаю під час конкретної ерозійної події. (Фактично – це прямі втрати).

В подальшому кожна ерозійна подія стає певним внеском в формування постійних збитків. Ситуативні збитки від ерозії можна оцінити за вартістю недоотриманої в результаті пошкодження посівів в наслідок розмивання та замулення сільськогосподарської продукції та втраченого разом із змитим ґрунтом гумусу та поживних речовин.

Вартість втраченого ґрунту, як пропонує цілий ряд дослідників, доцільно визначати саме через витрати на відновлення втраченого із змитим ґрунтом гумусу (або органічної речовини), тому що гумус визначає комплекс основних властивостей ґрунту, що забезпечують його родючість та стійкість до подальшого ерозійного руйнування.

Найбільш раціональний шлях оцінки потенційних ситуативних втрат ґрунту – використання комп'ютерного моделювання процесів водної ерозії, з метою кількісної оцінки втрат ґрунту при певній інтенсивності опадів для конкретної території. Однак обрана для розрахунків математична модель має відповідати тим природно-антропогенним умовам, для яких проводиться моделювання та враховувати обмеження моделі.

Як вже було сказано, перераховані вище збитки від ерозії можуть бути виміряні в грошовому еквіваленті через втрати (недоотримання) сільськогосподарської продукції, та вартість втраченого ґрунту та винесених з ним поживних речовин (добрів).

Однак, ерозія ґрунтів завдає непоправної шкоди ґрунтовому покриву, необоротно руйнуючи ґрунти, та негативно впливаючи не лише на продуктивну, а й на цілу низку екологічних функцій. Відповідно,

оскільки ерозія ґрунтів спричиняє одночасно як суто економічні (зниження продуктивності земель та ефективності капіталовкладень) так і екологічні та соціально-екологічні збитки, які завдаються одночасно, то і оцінка цих збитків має здійснюватися комплексно.

Під екологічними збитками розуміється сукупність негативних наслідків як для навколишнього середовища взагалі, так і для ґрунтового покриву зокрема.

Соціально-екологічні збитки, тобто збитки, які завдаються суспільству внаслідок загострення екологічних проблем, наприклад, зростання захворюваності в результаті забруднення води та погіршення якості сільськогосподарської продукції, або погіршення продовольчої безпеки є віддаленими наслідками ерозії ґрунту. Крім того, це як правило комплексні явища, в основі яких лежить цілий ряд чинників. Отже їх фактично неможливо однозначно прив'язати до кількісно виміряного змиву ґрунту з одиниці площі. Однак, це не знімає «відповідальності» ерозії за свій внесок у формування соціально-екологічних проблем.

Втрата ґрунту, що є сутністю ерозійного процесу і може бути обрахована кількісно, є одночасно джерелом як економічних збитків (винесення елементів живлення та зниження продуктивності) так і негативних екологічних наслідків.

Ми погоджуємось із думкою E. Varbi-er [31] що економічна термінологія «витрати, збитки, прибуток» не означає, що мова йде про суто економічні показники – при обґрунтуванні ґрунтоохоронної діяльності ці терміни стосуються всіх наслідків ерозії та збереження ґрунтів – соціальних, економічних та екологічних. Однак, при обґрунтуванні застосування ґрунто-охоронних заходів, як справедливо відмітив [31] головним завданням є встановлення бажаного (допустимого) ступеня деградації ґрунту як з точки зору суспільства в цілому, так і з точки зору окремого землекористувача, що можливо лише за умов встановлення потенційного зиску збереження ґрунтів, який він вважає синонімом терміну «вартість деградації ґрунту».

Аналіз існуючих підходів до визначення еколого-економічної ефективності землекористування, проведений [32] показав, що екологічна ефективність як правило

вимірюється наступними показниками: окупність витрат, пов'язаних з ліквідацією або попередженням забруднення і руйнування природного середовища, а також втрат сільськогосподарської продукції внаслідок погіршення екологічного стану навколишнього середовища.

Основна проблема проведення еколого-економічних оцінок збитків від ерозії полягає в складності, або, навіть, принциповій неможливості кількісного обрахування більшої частини завданого екологічного збитку та його переведення в грошовий вимір, а отже й встановлення потенційного зиску збереження ґрунтів адекватного існуючій небезпеці.

Як правило екологічні наслідки ерозії ґрунтів оцінюються шляхом якісних експертних оцінок, та їх грошовий еквівалент або взагалі не наводиться, або, як наприклад у [5] вказують дуже приблизні оцінки, на кшталт («приблизно дорівнює за обсягом прямим збиткам», або «перевищують прямі збитки»).

Наприклад, не може бути обрахована точна кількість парникових газів, що надходять в атмосферу внаслідок ерозії, оскільки дотепер достеменно невідомо, яка частка органічного вуглецю в складі змитого та перевідкладеного ґрунту мінералізується, а яка залишається законсервованою у денудаційних відкладах.

Методика оцінки збитків від забруднення водою [33] потенційно придатна для оцінки забруднення внаслідок ерозії. Однак, забруднення водою внаслідок ерозії є частковим випадком екологічних збитків, який реєструється лише за наявності водних об'єктів в місцях розвантаження стоку. Вона має сенс лише на рівні водозбірних басейнів та потребує наявності даних регулярних моніторингових спостережень за якістю води для встановлення факту забру-

днення та оцінки кількості забруднюючих речовин, що надходять у водний об'єкт для підрахунку збитку.

Таким чином, кількість втраченого ґрунту та його складових (органічного вуглецю та поживних елементів) є єдиним достовірним джерелом кількісного обрахування збитків від ерозії, які за своєю сутністю є як економічними, так і екологічними. В той же час, треба усвідомити, що хоча недоотримання продукції внаслідок ерозії та оцінка вартості втраченого ґрунту та поживних речовин є, фактично, єдиними параметрами оцінки збитків що піддаються достовірному кількісному обрахуванню, вони є лише вершиною «айсберга» екологічних збитків, спричинених ерозійними процесами.

В сучасних умовах, коли увага світової спільноти та урядів окремих держав до екологічних проблем постійно зростає, та питання збереження ґрунтів (нейтральної, або нульової деградації) стає одним з питань державної безпеки, значення екологічної складової в оцінках ефективності виробництва, чи здійснення будь-якої сільськогосподарської діяльності неухильно зростає.

Однак, екологічний компонент діяльності та його корегування важко піддаються монетизації, тому як правило не несе прямого економічного зиску виробникові, а отже, має забезпечуватись Державою. Як це й відбувається в більшості розвинених країн світу – шляхом безпосереднього бюджетного фінансування чи економічного стимулювання застосування ґрунто-охоронних заходів. Ніякі теоретичні заклики до збереження ґрунтів не будуть мати ефекту без економічного підґрунтя та демонстрації дійсної, підтвердженої діями а не лише деклараціями про наміри, зацікавленості держави в охороні ґрунтів та відтворенні їх родючості.

## Висновки

Збитки від ерозії на сьогодні вимірюються за кількістю втраченого ґрунту та вартістю сільськогосподарської продукції, що втрачається внаслідок зниження врожайності на еродованих ґрунтах. Втрати ґрунту, в свою чергу, як правило оцінюються за результатами математичного моделювання, як потенційно можливі втрати для певних умов.

Найбільш значні негативні наслідки ерозії – як-то вплив на глобальні кліматичні процеси, забруднення водних об'єктів, посилення аридизації на місцевому рівні, посилення загального процесу деградації ґрунтів є неочевидними в кожному конкретний момент часу для пересічного землекористувача, та не піддаються прямим кількісним вимірюванням. Внаслідок цього вони пов-

ністю ігноруються при виборі стратегії землекористування та прийнятті рішень щодо застосування ґрунтозахисних технологій.

Для обґрунтування економічної доцільності застосування протиерозійних заходів на рівні конкретних землекористувачів єдиним достовірним джерелом підрахунку потенційних збитків від ерозії є недобір сільськогосподарської продукції та втрата органічної речовини ґрунту та добрив.

Однак, оцінка вартості змитого ґрунту за вартістю відновлення вмісту органічної речовини має практичний сенс лише в тому разі, коли ці витрати стають або обов'язковими для землекористувача, або компенсуються державою.

Таким чином, запровадження ґрунтозахисних технологій на місцевому рівні з ініціативи конкретних землекористувачів можливо лише в обсягах, що за рівнем витрат не перевищують фактичну вартість щорічного недоотримання продукції на сільськогосподарських землях.

В той же час, реальні збитки від ерозійних процесів значно більші за недобір врожаю, чи винесення поживних речовин. Вони лежать в площині глобальних екологічних процесів та боротьба з ерозією не може бути справою окремих фермерів. Це, без перебільшення, питання державної безпеки та воно має вирішуватись на загальнодержавному рівні.

### Конфлікт інтересів

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

### Література

1. Wuepper D., Borrelli P., Finger R. Quantifying the effect of countries on global soil erosion. *Annual Conference International Association for Applied Econometrics University of Cyprus, Nicosia June 25-28, 2019*. URL: [https://editorialexpress.com/cgi-bin/conference/download.cgi?db\\_name=IAAE2019&paper\\_id=98](https://editorialexpress.com/cgi-bin/conference/download.cgi?db_name=IAAE2019&paper_id=98)
2. Helms D. Hugh Hammond Bennett and the creation of the Soil Erosion Service. *Natural Resources Conservation Service of United States Department of Agriculture. Historical Insights*. 2008. № 8. 13 p. URL: <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/national/about/history/?cid=stelprdb1044441>
3. Bennett H. H. The cost of soil erosion. *Ohio Journal Science*, 1933. V.33. P 271-279. URL: [https://kb.osu.edu/bitstream/handle/1811/2640/V33N04\\_271.pdf](https://kb.osu.edu/bitstream/handle/1811/2640/V33N04_271.pdf)
4. Кузнецов М. С., Глазунов Г. П. Эрозия и охрана почв. Москва, 1996. 335 с.
5. Швебс Г. И. Теоретические основы эрозиоведения. Киев-Одесса, 1981. 224 с.
6. Бульгин С. Ю., Неаринг М. А. Формирование экологически сбалансированных агроландшафтов: проблема эрозии. Харьков, 1999. 272 с.
7. Наукові та прикладні основи захисту ґрунтів від ерозії в Україні. Харків, 2010. 460 с.
8. Ильев Л. И., Гордиенко Р. Н. Экономическая эффективность противоэрозионных защитных насаждений. *Теоретические основы противоэрозионных мероприятий*: тезисы докл. всесоюз. конф. (Одесса, 25-27 сентября 1979 г.). Ч. II. С. 103-104
9. Любин В. М. К методике определения ущерба от эрозии в сельскохозяйственном производстве. *Теоретические основы противоэрозионных мероприятий*: тезисы докл. всесоюз. конф. (Одесса, 25-27 сентября 1979 г.). Ч. II. С. 104-105
10. Outcome document of the Global Symposium on Soil Erosion. Rome. FAO, 2019. 28 p. URL: <http://www.fao.org/3/ca5697en/ca5697en.pdf>
11. Soil change: impacts and responses. in: Status of the World's Soil Resources (SWSR) Main Report. / Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy. 2015. P. 168-222. URL: <http://www.fao.org/3/a-bc596e.pdf>
12. Sartori M. et al. A linkage between the biophysical and the economic: Assessing the global market impacts of soil erosion/ *Land Use Policy*. 2019. V. 86. P. 299-312. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.05.014>
13. Dimotta A. Global soil erosion costs: a critical review of the economic assessment methods. // Soil erosion interdisciplinary overview: modelling approaches, ecosystem services assessment and soil quality restoration. applications and analyses in the Basilicata region. Italy. 2019. 70 p. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13842.30401>
14. Telles, T. ., Guimarães, M. F., Dechen, S. C. F. The costs of soil erosion. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2011. Vol.35. No.2. P. 287-298. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000300010>
15. Доля АПК в ВВП України// Z-Україна. Статистика, економіка, політика, персоны. 30.06.2019 URL: <https://zet.in.ua/statistika-2/vvp/dolya-apk-v-vvp-ukrainy/>

16. Marques J. Q. A. Berton, J. & Barreto, G.B. A study of soil losses due to erosion in São Paulo. *Bragantia*. 1961. vol. 20. P. 1143-1182. URL: <https://doaj.org/article/de5bf2081baa404192bfcf44ca8fca68>
17. Larson W. E. Pierce F. J., Dowdy R. H. The threat of soil erosion to long-term crop production. *Science*. 1983 - V. 219. P. 458-465. <https://doi.org/10.1126/science.219.4584.458>
18. Margulis S. *Back of the envelope estimates of environmental damage costs in Mexico (English)*. Policy, Research working papers ; no. WPS 824. Agriculture operations. 1992. Washington, DC: World Bank. URL: <http://documents.worldbank.org/curated/en/331481468774642787/Back-of-the-envelope-estimates-of-environmental-damage-costs-in-Mexico>
19. An assessment of the total external costs of UK agriculture/ Pretty J.N. et al. *Agricultural System*. 2000. N 65. P.113-136. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(00\)00031-7](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(00)00031-7)
20. Montanarella L. Trends in land degradation in Europe. // Sivakumar, M. V. K., Ndiang'ui, N., eds. *Climate and land degradation*. New York, Springer, 2007. P.83-104. URL:[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-72438-4\\_5](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-72438-4_5)
21. Kuhlman T., Reinhard S., Gaaff A. Estimating the costs and benefits of soil conservation in Europe. *Land Use Policy*. 2010. Vol.27 (1). P. 22-32ю
22. Panagos P. et al. Cost of agricultural productivity loss due to soil erosion in the European Union: From direct cost evaluation approaches to the use of macroeconomic models. *Land Degradation and Development*. 2018. Vol.29. P. 471–484. <https://doi.org/10.1002/ldr.2879>
23. Wang F., et al. Soil and water conservation policy evolution and its human-environment contexts in China since 1949. *FAO. Proceedings of the Global Symposium on Soil Erosion 2019*. Rome, 2019. P.528-533 URL: <http://www.fao.org/3/ca5582en/CA5582EN.pdf>
24. Polidoro J. C. et al The impact of plans, policies, practices and technologies based on the principles of conservation agriculture for controlling soil erosion in Brazil. *FAO. Proceedings of the Global Symposium on Soil Erosion 2019*. Rome, 2019. P.553-558. URL: <http://www.fao.org/3/ca5582en/CA5582EN.pdf>
25. Thomas R., et al. The economics of soil erosion and benefits of sustainable land management in Asia and Africa. *FAO. Proceedings of the Global Symposium on Soil Erosion 2019*. Rome, 2019. P.609-614. URL:<http://www.fao.org/3/ca5582en/CA5582EN.pdf>
26. Badreldin N., Lobb D. A. Assessment of the Cost of Soil Erosion to Crop Production in Canada. *FAO. Proceedings of the Global Symposium on Soil Erosion 2019*. Rome, 2019. P.633-637. URL: <http://www.fao.org/3/ca5582en/CA5582EN.pdf>
27. Юрлова В. А. Эколого-экономическая оценка сельскохозяйственных земель: теоретико-методические аспекты и практическая реализация. *Управление экономическими системами*. 2014. №6 (66). 12 с. URL: [http://www.uecs.ru/index.php?option=com\\_flexicontent&view=items&id=2965](http://www.uecs.ru/index.php?option=com_flexicontent&view=items&id=2965)
28. Попова О. Л. Оцінка суспільних збитків і розміру відшкодування за погіршення якості сільськогосподарських земель. *Економіка України*. 2013. № 3. С. 47–56. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/EkUk\\_2013\\_3\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/EkUk_2013_3_6)
29. Шевченко О. В., Мартин А. Г. Економічна ефективність ґрунтоохоронних заходів при використанні земель сільськогосподарського призначення: монографія. К.: ЦП «Компринт», 2016. – 332 с.
30. Ачасова А. О., Ачасов А. Б. Економічна оцінка збитків від водної ерозії як ключ до впровадження ґрунтозахисних заходів. *Шляхи удосконалення землекористування, кадастру та геоінформаційного забезпечення в сучасних умовах*: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., присвяч. 70-річчю кафедри управління земельними ресурсами та кадастру, (27–28 вересня 2016 р. Харк. нац. аграр. ун-т. ім. В.В. Докучаєва). Х.: ХНАУ, 2016. С.13-17. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24319.56484>
31. Barbier E. B. The Economics of Soil Erosion: Theory, Methodology and Examples// Fifth Biannual Workshop on Economy and Environment in Southeast Asia (Singapore, November 28-30, 1995). URL: <http://203.116.43.77/publications/specialp2/ACF2B4.html>
32. Недилько Л. А., Мещанинова Е. Г. Эффективность использования земель сельскохозяйственного назначения: понятие, содержание, показатели. *Вестник ЮФТУ (НПИ)*. 2015. № 5. С. 55-61. URL: [http://www.vestnik-npi.info/upload/information\\_system\\_15/1/9/5/item\\_1951/information\\_items\\_property\\_5569.pdf](http://www.vestnik-npi.info/upload/information_system_15/1/9/5/item_1951/information_items_property_5569.pdf)
33. Методика розрахунку розмірів відшкодування збитків, заподіяних державі внаслідок порушення законодавства про охорону та раціональне використання водних ресурсів. Затверджено Наказом Міністерства охорони навколишнього природного середовища України 20.07.2009 № 389. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0767-09>

## References

1. Wuepper, D., Borrelli, P. & Finger, R. (2019). Quantifying the effect of countries on global soil erosion. *Annual Conference International Association for Applied Econometrics University of Cyprus, Nicosia 2019 June 25-28*. Retrieved from [https://editorialexpress.com/cgi-bin/conference/download.cgi?db\\_name=IAAE2019&paper\\_id=98](https://editorialexpress.com/cgi-bin/conference/download.cgi?db_name=IAAE2019&paper_id=98)



2. Helms, D. (2008). Hugh Hammond Bennett and the creation of the Soil Erosion Service. *Natural Resources Conservation Service of United States Department of Agriculture. Historical Insights*. 8. Retrieved from <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/national/about/history/?cid=stelprdb1044441>
3. Bennett, H. H. (1933). The cost of soil erosion. *Ohio Journal Science*, (33), 271-279. Retrieved from [https://kb.osu.edu/bitstream/handle/1811/2640/V33N04\\_271.pdf](https://kb.osu.edu/bitstream/handle/1811/2640/V33N04_271.pdf)
4. Kuznetsov, M. S. & Glazunov, G. P. (1996). *Erosion and soil protection*. Moscow: MSU Publishing House (in Russian).
5. Shwebs, G. I. (1981). *Theoretical Foundations of Erosion Studies*. Kiev-Odessa: High school (in Russian).
6. Bulygin, S. Yu. & Niaring, M. A. (1999). *Formation of ecologically balanced agrolandscapes: the problem of erosion*. Kharkov: Aeneas (in Russian).
7. Balyuk, S. A. & Tovazhnyansky, L. L. (Eds.). (2010). *Scientific and applied bases of soil protection from erosion in Ukraine*. Kharkiv: NTU "KPI". (in Ukrainian).
8. Ilyev, L. I. & Gordienko, R. N. (1979). Economic efficiency of anti-erosion protective plantings. *Proceedings of the All-Union Conference: Theoretical foundations of anti-erosion measures*, Odessa, 1979, September 25-27, Part II, (pp. 103-104). Odessa. (in Russian).
9. Lyubin, V. M. (1979). On the methodology for determining damage from erosion in agricultural production. *Proceedings of the All-Union Conference: Theoretical foundations of anti-erosion measures*. Odessa, 1979, September 25-27, Part II. (pp.104-105). Odessa. (in Russian).
10. FAO. (2019). *Outcome document of the Global Symposium on Soil Erosion*. Rome. Retrieved from <http://www.fao.org/3/ca5697en/ca5697en.pdf>
11. FAO and ITPS. (2015). Soil change: impacts and responses. in: Status of the World's Soil Resources (SWSR) Main Report. Rome, Italy, 2015, 168-222. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-bc596e.pdf>
12. Sartoria, M. Philippidis, G., Ferrari, T., Borrelli, P., Lugato, E., Montanarella, L. & Panagos, P. (2019). A linkage between the biophysical and the economic: Assessing the global market impacts of soil erosion. *Land Use Policy*, 86, 299-312. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.05.014>
13. Dimotta, A. (2019). Global soil erosion costs: a critical review of the economic assessment methods. In *Soil erosion interdisciplinary overview: modelling approaches, ecosystem services assessment and soil quality restoration. applications and analyses in the Basilicata region. Italy*. Retrieved from <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13842.30401>
14. Telles, T. S., Guimarães, M. F. & Dechen, S. C. F. (2011). The costs of soil erosion. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35(2), 287-298. Retrieved from <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000300010>
15. The share of agriculture in the GDP of Ukraine. (2019, June 30) [Web log post] Z-Ukraine. Statistics, economics, politics, people. (in Russian). Retrieved from <https://zet.in.ua/statistika-2/vvp/dolya-apk-v-vvp-ukrainy/>
16. Marques, J. Q. A., Bertoni, J. & Barreto, G. B. (1961). A study of soil losses due to erosion in São Paulo. *Bragantia*, 20, 1143-1182. Retrieved from <https://doaj.org/article/de5bf2081baa404192bfcf44ca8fca68>
17. Larson, W. E., Pierce, F. J., & Dowdy, R. H. (1983). The threat of soil erosion to long-term crop production. *Science*, 219, 458-465. Retrieved from <https://doi.org/10.1126/science.219.4584.458>
18. Margulis, S. (1992). *Back of the envelope estimates of environmental damage costs in Mexico (English)*. Policy, Research working papers ; no. WPS 824. Agriculture operations. Washington, DC: World Bank. Retrieved from <http://documents.worldbank.org/curated/en/331481468774642787/Back-of-the-envelope-estimates-of-environmental-damage-costs-in-Mexico>
19. Pretty, J. N., Brett, C., Gee, D., Hine, R. E., Mason, C. F., Morison, J. I. L., Raven, H., Rayment, M. D., & van der Bijl, G. (2000). An assessment of the total external costs of UK agriculture. *Agricultural System*, 65, 113-136. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(00\)00031-7](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(00)00031-7)
20. Montanarella, L. (2007). Trends in land degradation in Europe. In Sivakumar, M.V.K., Ndiang'ui, N. (Eds.), *Climate and land degradation*. (pp. 83-104). New York: Springer. Retrieved from [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-72438-4\\_5](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-72438-4_5)
21. Kuhlman, T., Reinhard, S. & Gaaff, A. (2010). Estimating the costs and benefits of soil conservation in Europe. *Land Use Policy*, 27, 22-32.
22. Panagos, P., et al. (2018). Cost of agricultural productivity loss due to soil erosion in the European Union: From direct cost evaluation approaches to the use of macroeconomic models. *Land Degradation and Development*, 29, 471-484. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/ldr.2879>
23. Wang, F., Li, R., Stringer, L.C., Fleskens, L., & Ritsema, C. J. (2019). Soil and water conservation policy evolution and its human-environment contexts in China since 1949. In *FAO. Proceedings of the Global Symposium on Soil Erosion*, (pp. 528-533). Rome. Retrieved from <http://www.fao.org/3/ca5582en/CA5582EN.pdf>
24. Polidoro, J. C., de Freitas, P. S., Bhering, S. B., de Carvalho, W. J., de Aragão Ribeiro Rodrigues, R., de Melo Benites, V.,... Ribeiro, J. L. (2019). The impact of plans, policies, practices and technologies based on the principles of conservation agriculture for controlling soil erosion in Brazil. In *FAO. Proceedings of the*

- Global Symposium on Soil Erosion*, (pp.553-558). Rome. Retrieved from <http://www.fao.org/3/ca5582en/CA5582EN.pdf>
25. Thomas, R., Schauer, M., Tilahun, M., Kumar, P. & Singh, A. (2019). The economics of soil erosion and benefits of sustainable land management in Asia and Africa. In *FAO. Proceedings of the Global Symposium on Soil Erosion*, (pp. 609-614). Rome. Retrieved from <http://www.fao.org/3/ca5582en/CA5582EN.pdf>
26. Badreldin, N. & Lobb, D. A. (2019). Assessment of the Cost of Soil Erosion to Crop Production in Canada In *FAO. Proceedings of the Global Symposium on Soil Erosion*, (pp. 633-637). Rome. Retrieved from <http://www.fao.org/3/ca5582en/CA5582EN.pdf>
27. Yurlova, V. A. (2014). Ecological and economic assessment of agricultural land: theoretical and methodological aspects and practical implementation. *Economic Systems Management: An Electronic Scientific Journal*, (6 (66)), 36. Retrieved from [http://www.uecs.ru/index.php?option=com\\_flexicontent&view=items&id=2965](http://www.uecs.ru/index.php?option=com_flexicontent&view=items&id=2965) (in Russian).
28. Popova, O. L. (2013). Estimation of social losses and the size of a compensation for a deterioration of the quality of farming lands. *Economy of Ukraine*, 3, 47–56. Retrieved from [http://nbuv.gov.ua/UJRN/EkUk\\_2013\\_3\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/EkUk_2013_3_6).
29. Shevchenko, O. V. & Martin, A. G. (2016). *Economic efficiency of soil conservation measures in the use of agricultural land*. Kyiv: Comprint CPU (in Ukrainian).
30. Achasova, A. O. & Achasov, A. B. (2016). Economic estimation of losses from water erosion as key to implementation of soil protection measures. *Proceedings of the All -Ukrainian Research Practice Conference: Ways of improvement of land management, cadastre and geoinformation support in modern conditions: 70th Anniversary of the Department of Land Management and Cadastre, Kharkiv, 2016, September 27-28* (pp.13-17). Kharkiv: KhNAU V.V. Dokuchaev. Retrieved from <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24319.56484>
31. Barbier, E. B. (1995). The Economics of Soil Erosion: Theory, Methodology and Examples. *Proceedings of the 5th Biannual Workshop on Economy and Environment in Southeast Asia* Singapore, 1995, November 28-30. Retrieved from <http://203.116.43.77/publications/specialp2/ACF2B4.html>
32. Nedilko, L. A. & Meshchaninova, E. G. (2015). Efficiency of the use of agricultural land: concept, content, indicators. *Bulletin of SRSTU (NPI)*, 5, 55-61. Retrieved from [http://www.vestnik-npi.info/upload/information\\_system\\_15/1/9/5/item\\_1951/information\\_items\\_property\\_5569.pd](http://www.vestnik-npi.info/upload/information_system_15/1/9/5/item_1951/information_items_property_5569.pd) (in Russian).
33. *Methodology of calculating the amount of compensation for losses caused to the state as a result of violation of legislation on the protection and rational use of water resources*. (2009). Approved by Order of the Ministry of Environmental Protection of Ukraine 20.07.2009 № 389. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0767-09> (in Ukrainian).

Надійшла до редколегії 08.04.2020

Прийнята 15.04.2020



УДК (UDC) 504+502.71

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-22-02>

**Н. В. МАКСИМЕНКО<sup>1</sup>**, д-р геогр. наук, проф., **А. В. ШУМІЛОВА<sup>2</sup>**,  
**О. І. КАЛИНОВСЬКИЙ<sup>1</sup>**

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

<sup>2</sup> Національний природний парк «Слобожанський»  
вул. Зарічна, 15А, смт. Краснокутськ, Харківська обл., Україна 62002

e-mail: [maksymenko@karazin.ua](mailto:maksymenko@karazin.ua)

[allashu87@gmail.com](mailto:allashu87@gmail.com)

[kalinovskijaleksandr@gmail.com](mailto:kalinovskijaleksandr@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7921-9990>

<https://orcid.org/0000-0003-3547-5615>

## ЕКОЛОГІЧНА ЦІННІСТЬ ЗАПЛАВИ РІЧКИ МЕРЛА ДЛЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ НПП «СЛОБОЖАНСЬКИЙ»

**Актуальність.** Територія заплави поруч з Національним природним парком «Слобожанський» до теперішнього часу не має природно-заповідного статусу і знаходиться під загрозою повного знищення. Заплава р. Мерла – середовище існування для великої кількості червонокнижних і зеленокнижних видів, місце міграції багатьох видів європейських перелітних птахів і т.п. Тільки включення території заплави до складу НПЗ, зможе поєднати охорону природи заплави з традиційними формами господарювання регіону, не порушуючи природної рівноваги ландшафтів долини річки Мерла.

**Мета.** Провести аналіз екологічної цінності заплави р. Мерла для функціонування ландшафтів НПЗ «Слобожанський».

**Методи.** Аналітико-синтетичний метод, геоінформаційний (картографічне моделювання і обробка даних дистанційного зондування), аналіз інформаційних джерел і методи польових досліджень.

**Результати.** На основі аналізу літературних і фондових матеріалів та власних польових досліджень на тестових ділянках заплави отримана інформація про флористичному різноманітті території заплави, досліджені наявність і позиційне розташування червонокнижних і зеленокнижних об'єктів в межах заплави, проведена оцінка природних умов парку. На всій території національного парку і на тестових ділянках спостерігаються унікальні представники флори, значна кількість яких вимагає особливої охорони і захисту. Рідка рослинність вільхових лісів на заплавної діброві Національного природного парку «Слобожанський» представлена угрупованнями, занесеними до Зеленого списку Харківської області. Виходячи з аналізу цифрової моделі рельєфу території НПЗ «Слобожанський» і заплави р. Мерла можна стверджувати про єдність геохімічного ландшафту даної території з точки зору всіх її складових, тобто підтверджує генетичну і динамічну єдність ландшафтів НПЗ.

**Висновки.** Ґрунтуючись на результатах даного дослідження та беручи до уваги попередній доробок вчених, доведено, що включення заплави р. Мерла, яка знаходиться між двома ділянками НПЗ «Слобожанський» до його складу, забезпечить збереження ландшафтного та біологічного різноманіття даної території. Це дозволить виконати умови Національної програми формування екологічної мережі України та вимоги включення її до Пан-Європейської екомережі.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** національний природний парк «Слобожанський», ландшафт, флористичне різноманіття, цифрова модель рельєфу, заплава

© Максименко Н. В., Шумілова А. В., Калиновський О. І., 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/)

**Maksymenko N. V.<sup>1</sup>, Shumilova A. V.<sup>2</sup>, Kalinovskiy O. I.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine*

<sup>2</sup> *Slobozhanskyi National Nature Park, Krasnokutsk, Kharkiv region, Ukraine*

### **ECOLOGICAL VALUE OF THE MERLA RIVER FLOODPLAIN FOR THE FUNCTIONING OF SLOBOZHANSKYI NATIONAL NATURE PARK**

**Actuality.** The floodplain area near the Slobozhansky National Nature Park still does not have a nature reserve status and is under threat of complete destruction. The Merla floodplain is a habitat for a large number of Red Book and Green Book species, a place of migration of many species of European migratory birds, etc. Only the inclusion of the floodplain area into the national nature park will give the possibility to combine the protection of the floodplain nature with the traditional patterns of regional management, without violating the natural balance of the landscapes in the Merla River valley.

**Purpose.** To analyze the ecological value of the the Merla river floodplain for the functioning of the NNP Slobozhansky.

**Methods.** The analytical-synthetic method, geoinformation (cartographic modeling and processing of remote sensing data), a critical analysis of information sources and the results of field studies were used.

**Results.** Based on the analysis of literary and stock materials and our own field studies on the test sites of the floodplain, information was obtained on the floristic diversity of the floodplain, the presence and positional location of red-book and green-book objects within the floodplain was studied, and the natural conditions of the park were assessed. Unique representatives of the flora are observed throughout the national park and on the test sites, a significant amount of which requires special protection and protection. The rare vegetation of alder forests on the floodplain oak forest of the Slobozhansky National Nature Park is represented by groups listed in the Green List of the Kharkov region. Based on the analysis of a digital elevation model of the territory of the NNP Slobozhansky and the Merla river floodplain we can talk about the unity of the geochemical landscape of this territory in terms of all its components, the Merla river valley confirms the genetic and dynamic unity of the NNP landscapes.

**Conclusion.** Based on the results of this study and taking into account the previous achievements of scientists, it is proved that the inclusion of the Merla river floodplain, which is located between the two sites of the Slobozhansky NNP in its composition, will preserve the landscape and biological diversity of the area. This will fulfill the conditions of the National Program of formation of the ecological network of Ukraine and the requirements of its inclusion in the Pan-European eco-network.

**KEYWORDS:** Slobozhansky National Nature Park, landscape, floristic diversity, digital elevation model, floodplain

**Максименко Н. В.<sup>1</sup>, Шумилова А. В.<sup>2</sup>, Калиновский А. И.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина*

<sup>2</sup> *Национальный природный парк «Слобожанский»*

### **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ ПОЙМЫ РЕКИ МЕРЛА ДЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НПП «СЛОБОЖАНСКИЙ»**

**Актуальность.** Территория поймы рядом с Национальным природным парком «Слобожанский» до сих пор не имеет природно-заповедного статуса и находится под угрозой полного уничтожения. Пойма р. Мерла – среда обитания для бесчисленного количества краснокнижных и зеленокнижных видов, место миграции многих видов европейских перелетных птиц и т.п. Только включение территории поймы в состав НПП, сможет совместить охрану природы поймы с традиционными формами хозяйствования региона, не нарушая естественного равновесия ландшафтов долины реки Мерла.

**Цель.** Провести анализ экологической ценности поймы р. Мерла для функционирования НПП «Слобожанский».

**Методы.** Аналитико-синтетический метод, геоинформационный (картографическое моделирование и обработка данных дистанционного зондирования), анализ информационных источников и методы полевых исследований.

**Результаты.** На основе анализа литературных и фондовых материалов и собственных полевых исследований на тестовых участках поймы получена информация о флористическом разнообразии территории поймы, исследованы наличие и позиционное расположение краснокнижных и зеленокнижных объектов в пределах поймы, проведена оценка природных условий парка. На всей территории нацио-

нального парка и на тестовых участках наблюдаются уникальные представители флоры, значительное количество которых требует особой охраны и защиты. Редкая растительность ольховых лесов на пойменной дубраве Национального природного парка «Слобожанский» представлена группировками, занесенными в Зеленый список Харьковской области. Исходя из анализа цифровой модели рельефа территории НПП «Слобожанский» и поймы р. Мерла можно утверждать о единстве геохимического ландшафта данной территории с точки зрения всех ее составляющих, модель подтверждает генетическое и динамическое единство ландшафтов НПП.

**Выводы.** Основываясь на результатах данного исследования и учитывая предыдущие наработки ученых, доказано, что включение поймы р. Мерла, которая находится между двумя участками НПП «Слобожанский» в его состав, обеспечит сохранение ландшафтного и биологического разнообразия данной территории. Это позволит выполнить условия Национальной программы формирования экологической сети Украины и требования включения ее в Пан-Европейской экосети.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** национальный природный парк «Слобожанский», ландшафт, флористическое разнообразие, цифровая модель рельефа, пойма

## Вступ

Згідно до програми розбудови екомережі України заплава рр. Мерла та Мерчик входить до Галицько-Слобожанського екокоридору загальнодержавного значення в рамках Національної екологічної мережі України і Всеєвропейської екологічної мережі., а загальна площа екомережі Краснокутського району становить 12048,5 га [1]. Вздовж Мерли пролягають шляхи міграції багато видів перелітних птахів. Крім того, місцевих видів тварин і рослин тут також дуже багато, адже заплава має вигляд природної ділянки і повноцінно ще не освоєна людиною. Попри пропозиції та застереги фахівців-екологів, заплава, яка межує з НПП «Слобожанський» досі не має природно-заповідного значення і знаходиться під загрозою повного знищення. В разі її включення до складу НПП, охорона природи заплави зможе бути поєднана з традиційними формами господарювання регіону, що не порушують природну рівновагу та ландшафти долини річки Мерла. На даному етапі територія заплави використовується лише для випасу худоби та сінокошіння. А це цілком сумісне використання території з поширенням на неї статусу НПП.

Однією з важливих проблем сучасності є необхідність збереження і відновлення біорізноманіття внаслідок агресивного впливу людської діяльності на природні екосистеми. Це реально за умови об'єднання в єдину мережу особливо цінних у ландшафтному, фауністичному, флористичному і ценотичному відношенні ді-

лянок. Об'єднання території заплави поруч з національним природним парком «Слобожанський» сприяло би безперешкодному обміну генетичним матеріалом та міграції видів. Створення такої єдиної мережі має на меті збереження ландшафтного і біорізноманіття, зміцнення екологічних зв'язків та цілісності екосистем. Отже, екологічна мережа – це спосіб збереження природного каркасу території при одночасному не виснажливому природокористуванні.

Основну інформацію про склад рослинних та тваринних угруповань НПП «Слобожанський» можна дізнатися в роботах та дослідженнях різних вчених [2 – 9]. В працях неодноразово наголошується про цінність заплави з точки зору наявності червонокнижних та зеленокнижних видів.

Донедавна склад фітоценотичного різноманіття Краснокутських лісів був досліджений значно менше ніж інших районів Харківської області. До перших відомих публікацій про флору й рослинність цього регіону можна віднести роботи Павловича Л. О., а саме «Нариси рослинності Харківської губернії і сусідніх з нею місць» (1889) [10], також роботи Черняєва В. М. [11], Краснова А. М. [12] та Галієва В. І. [13]. Характеристики рослинних угруповань парку наведені в працях Орлова М.М. та Сладковського І. В. про угіддя, що були у власності поміщика Кеніга Л.Є. Більш повний ботанічний опис району річки Мерли зробив місцевий краснавець Наумов А. І. в роботі «Флора околиць с. Рубльовки Богодухівського повіту» у 1902 році [14].

У 1913 році «...проф. М. І. Орлов випустив книгу о лесах и древесно-кустарниковой флоры Гутянского района, если не исчерпывающую, то во всяком случае достаточно освещающую данный вопрос [15]» – відзначає Сладковський.

У праці Талієва В. І. «Природа і населення Слобідської України. Харківська губернія» 1918 року розглянуто географічні особливості Харківської губернії, клімат, геологію, особливості рослинності, тваринний світ, історію краю, етнографію Харківської губернії в економічному і культурно-мисленніях [13].

Дослідженнями фітосозологічної цінності ценозів запроєктованого національного природного парку «Слобожанський» займалися О. В. Філатова, О. В. Клімов. Вчені відзначають, що созологічна цінність досліджуваної території зумовлена наявністю на ній 19 рідкісних угруповань і 48 видів рослин, що потребують особливої охорони [16].

У роботі Безродної О.В. та Клещ А.А. особлива увага приділяється вивченню особливостей екологічної та ценологічної струк-

тури та напрямків трансформації рослинного покриву прибережної і берегової зон лісових боліт лісостепової зони. Дослідниками було виявлено цілу низку видів занесених до Червоної книги України та регіонально рідкісних видів. За результатами фітоіндикаційних досліджень вченими визначені показники 7 екологічних режимів едафотопів для 25 досліджених угруповань. На підставі геоботанічної карти території парку здійснено узагальнення даних стосовно інтенсивності трансформації рослинного покриву. Результатом даних досліджень є ГІС-проект, котрий у подальшому часі буде вдосконалений та використаний для вирішення інших прикладних задач [17]. Значну кількість інформації, що стосується обґрунтування включення заплави до НПП «Слобожанський» можна знайти в сучасних роботах інших вчених Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, у т.ч. авторів статті [18 – 22].

Мета – оцінка екологічної цінності заплави р. Мерла для функціонування НПП «Слобожанський».

### Матеріали та методи досліджень

Для оцінки екологічної цінності заплави, використано матеріали власних польових досліджень регіону, зібраних у 2019 році. Для цього проаналізовано флористичне різноманіття території заплави парку, досліджено наявність та позиційне розташування червонокнижних та зеленокнижних об'єктів у межах заплави, проведено оцінку природних умов парку, а саме побудовано та проаналізувано цифрову модель рельєфу території НПП «Слобожанський» з точки зору генетичної і динамічної єдності складових.

Цифрова модель рельєфу побудована за допомогою програмного комплексу «ArcGis». Зокрема, використано додаток «ArcScene» та модуль «3D Analyst».

Дослідження здійснювалися за допомогою стандартних польових та камеральних методів. Використано наукову та науково-популярну літературу, монографічні статті та публікації, інтернет ресурси та результати власних польових досліджень.

### Результати та їх аналіз

Для оцінки флористичної цінності заплави р. Мерла, що знаходиться між двома ділянками НПП «Слобожанський», проведено польове обстеження тестової ділянки заплави розміром 250 м<sup>2</sup>, з географічними координатами 50°5'45.67" північної широти та 35°14'29.37" східної довготи (рис. 1, рис. 2).

Рослинні угруповання досліджуваної ділянки мають природне походження. В першому ярусі деревостану зростає вільха європейська (*Alnus glutinosa*), а другий ярус

яскраво виражений в'язом європейським (*Ulmus laevis*).

Підлісок добре розвинений, в ньому зростають робінія звичайна (*Robinia pseudoacacia*), крушина ламка (*Frangula alnus*), черемха звичайна (*Prunus padus*), бузина чорна (*Sambucus nigra*), клен ясенелистий (*Acer negundo*), бруслина бородавчаста (*Euonymus verrucosus*) та бруслина європейська (*Euonymus europaeus*). Зімкнутість крон у підліску складає 25-30%.



Рис. 1 – Ділянка дослідження



Рис. 2 – Досліджувана ділянка території заплави НПП «Слобожанський»

Трав'янистий покрив дуже нерівномірний, загальне проективне покриття місцями досягає 15-20%. Тут поширені кропива дводомна (*Urtica dioica*), чистотіл звичайний (*Chelidonium majus*), розхідник звичайний (*Glechoma hederacea*), гребінник звичайний (*Geum urbanum*), хвилівник звичайний (*Aristolochia clematitis*), м'яточник чорний (*Ballota nigra*), костриця велетенська (*Festuca gigantea*), кінський часник черешковий (*Alliaria petiolata*), вероніка дібровна (*Veronica chamaedrys*), конвалія звичайна (*Convallaria majalis*), тонконіг дібровний (*Poa nemoralis*), цибуля ведмежа (*Allium ursinum*), бузина чорна (*Sambucus nigra*), празелень звичайна (*Lapsana communis*), глуха кропива плямиста (*Lamium maculatum*).

В флористичному відношенні найбільшу наукову та природоохоронну цінність даної ділянки складає рідкісна рослинність представлена угрупованнями, занесеними до Червоної книги України: конвалія звичайна (*Convallaria majalis*), тонконіг дібровний (*Poa nemoralis*) (не занесені до червоної книги) та цибуля ведмежа (*Allium ursinum*) [23].

Можна відзначити, що трав'яний покрив вільхових лісів на території заплави парку представлений домінуючими видами такими як: кропива жабрієлиста (*Urtica galeopsifolia*), кропива дводомна (*Urtica dioica*), розхідник звичайний (*Glechoma hederacea*), розрив-трава звичайна (*Impatiens noli-tangere*), гравілат річковий (*Geum rivale*), ягиця звичайна (*Aegopodium podagraria*), гадючник оголений (*Filipendula ulmaria*), комиш лісовий (*Scirpus sylvaticus*),



щитник шартрський (*Dryopteris carthusiana*), теліптерис болотний (*Thelypteris palustris*), види осок. Досить поширені щучник дернистий (*Deschampsia cespitosa*), лепешняк великий (*Glyceria maxima*), оман високий (*Inula helenium*), хміль звичайний (*Humulus lupulus*), вербозілля звичайне (*Lysimachia vulgaris*), плавушник болотний (*Hottonia palustris*), півники жовті (*Iris halophila*), сідач коноплевий (*Eupatorium cannabinum*), вовконіг високий (*Lycopus exaltatus*), дягель лікарський (*Angelica archangelica*), жовтець повзучий (*Ranunculus repens*), живокіст лікарський (*Symphytum officinale*), паслін солодко-гіркий (*Solanum dulcamara*) тощо.

Рідкісна рослинність вільхових лісів на заплавної діброві Слобожанського національного парку представлена угрупованнями занесеними до Зеленого списку Харківської області. Саме тут можна виділити асоціації чорновільхового лісу безщитникового (*Alneta (glutinosae) athyriosa (filicis feminae)*), асоціації чорновільхового лісу теліптерисового (*Alnetum (glutinosae) thelypteridosum (palustris)*), асоціації чорновільхового лісу щитникового (*Alnetum (glutinosae) dryopteridosum (cartusianae)*), формації осоки омської (*Cariceta omskiana*) [24].

Під час весняних польових обстежень заплави визначено 7 локацій зростання рябчика шахового (*Fritillaria meleagris*), який занесений до Червоної книги України. Згідно польових підрахунків встановлено 366 квітконосів, котрі мали на верхівках по 2-3 квітки.

Загалом флора заплави різноманітна. У її складі бореальні види рослин, рідкісні на Харківщині: безщитник жіночий (*Athyrium filix-femina*), вовче тіло болотне (*Potentilla palustris*), гірчак зміїний (*Bistorta officinalis delabre*), гравілат річковий (*Geum rivale*), калина звичайна (*Viburnum opulus*), лепешняк тростиновий (*Glyceria arundinacea kunth*), оман високий (*Inula helenium*), плавушник болотяний (*Hottonia palustris*), теліптерис болотяний (*Thelypteris palustris schott*), щитник шартрський (*Dryopteris carthusiana*).

Під час досліджень фауністичної складової на східній ділянці заплави р. Мерла на межі з НПП «Слобожанський» встановлено місця гніздування 2-х пар журавля сірого (*Grus grus*). Саме ці представники фауни занесені до Червоної книги України та знаходяться під охороною Боннської та Бернської конвенцій (рис. 3).

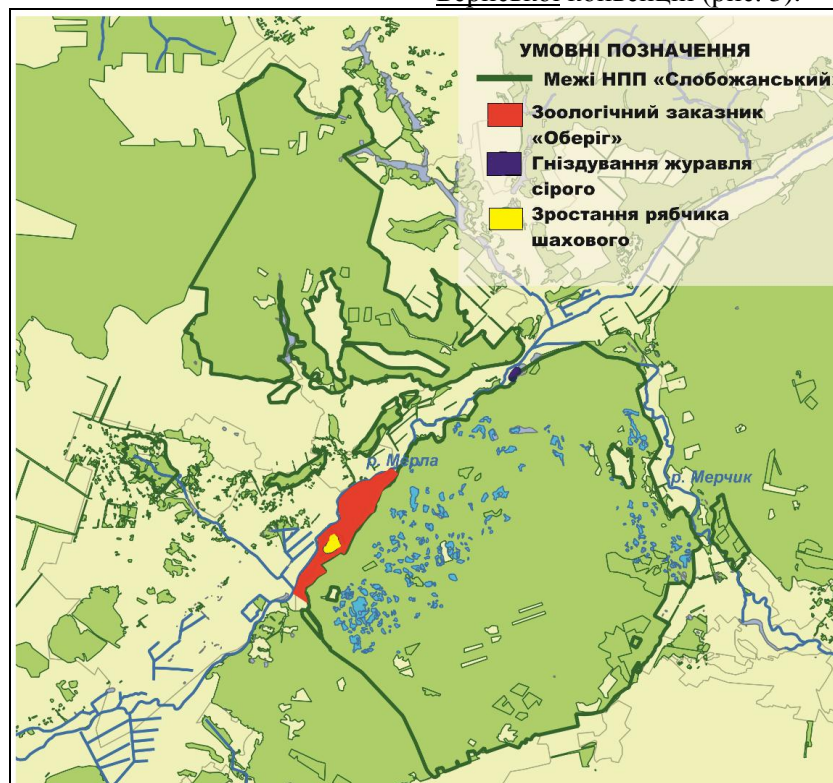


Рис. 3 – Карта-схема виявлення рослин та тварин

Окрім того обстежено зоологічний заказник місцевого значення «Оберіг», якій розташований між боровою терасою Слобожанського парку та р. Мерла в межах заплави та становить 84,2 га. Заказник створений у 2001 році з метою охорони та збереження популяції бобра європейського (*Castor fiber*). Під час досліджень не виявлено зимувальних ділянок бобра, що говорить про відсутність даного виду на зазначеній ділянці. За останні роки бобри покинули територію заказника та заселили болота національного парку, де постійно проводиться природоохоронні заходи по збереженню даного виду.

Основною метою створення НПП є охорона та збереження осоково-сфагнових та гіпсово-сфагнових боліт, які унікальні для Харківщини. Головною цінністю цих болотних угруповань є величезна кількість зникаючих та рідкісних видів рослин та тварин, у тому числі такі, що занесені до Червоного списку Харківської області, Червоної книги України та міжнародних списків охорони. Схожі екосистеми в парку знаходяться на крайній межі свого поширення, відтак, потребують особливого режиму збереження та охорони [24].

Загалом, на території НПП зареєстровано понад 20 видів, занесених до Червоної книги України, 40 видів, занесених до Червоного списку Харківської області, та пропонується до включення до ЧС Харківської області, а також 14 видів, що занесені до чинних для України Міжнародних охоронних списків та угод. Розвинена гідрологічна система, наявність густої мережі озер також сприяли збереженню рідкісних та таких, що потребують охорони видів рослин та тварин [25].

Поверхня території парку в цілому являє собою спадисту до річки хвилясту рівнину, розчленовану долинами її допливів, балками, улоговинами, ярами тощо. Зниження в межах території дослідження відбувається рівномірно. Використовуючи топографічну карту Краснокутського району побудовано TIN-модель рельєфу території Краснокутського району із зазначенням меж НПП «Слобожанський» (рис. 4).

Мінімальне значення висот на ділянці парку – близько 110 м, максимальне – 200 м.

Горизонталі на карті проведені через 20 метрів з урахуванням додаткових горизонталей.

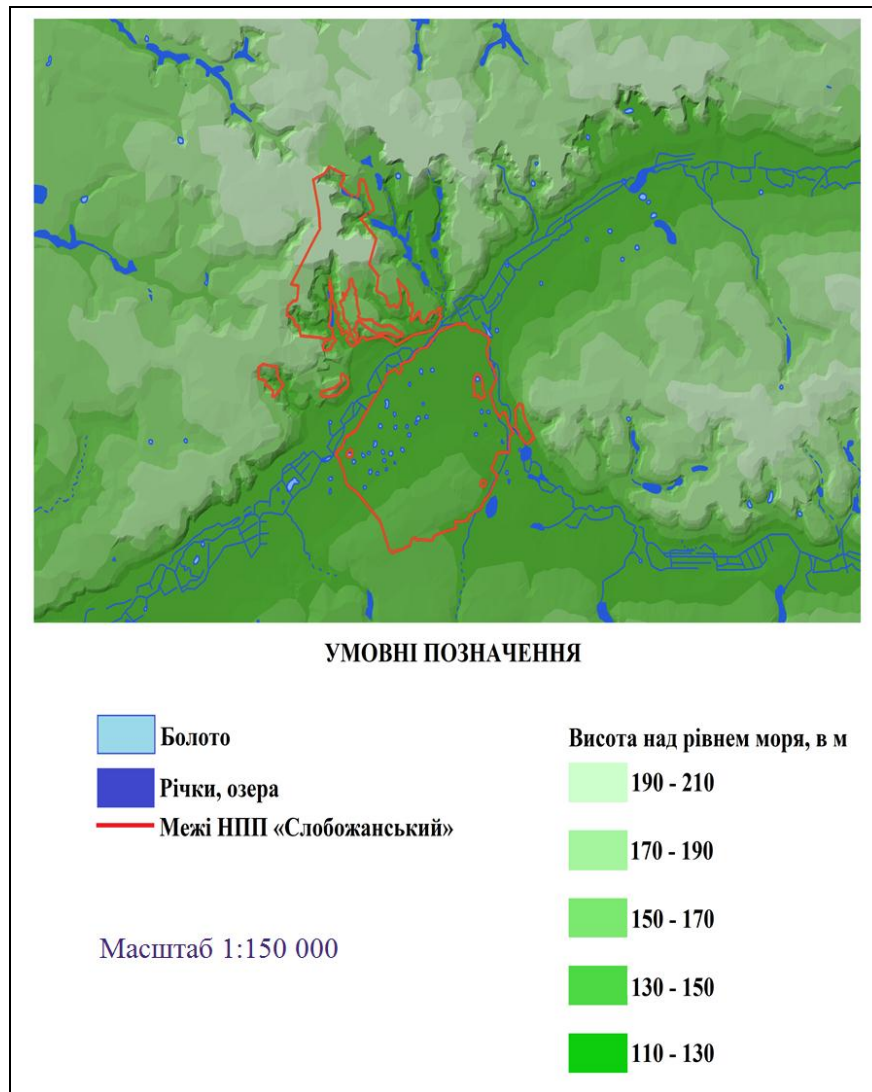
Цифрова модель рельєфу побудована за допомогою програмного комплексу «ArcGis». Зокрема, використано додаток «ArcScene» та модуль «3D Analyst».

Проаналізувавши цифрову модель рельєфу можна стверджувати про єдність даної території з точки зору геохімічної моделі. Саме рельєф території є одним з основних чинників котрий впливає на міграцію та накопичення хімічних елементів та сполук. Однорідність рельєфу може вказувати про однорідність геохімічних умов які склалися. Наприклад, перегини в рельєфі можуть формувати геохімічні бар'єри, аномалії тощо.

Однорідність форм рельєфу тісно взаємопов'язана з рослинним покривом території, шляхами переміщення повітряних мас, опадами та іншими кліматичними характеристиками. Рельєф є чинником формування рослинного покриву, а саме він зумовлює яскраве фіторізноманіття територій. Саме на цих територіях зосереджені рідкісні види занесені до Червоної книги України, Зеленого списку Харківської області. Це означає, що територія заплави НПП «Слобожанський» – єдина нероздільна система, котра потребує особливої уваги та охорони.

Побудова цифрової моделі рельєфу парку в перспективі дозволяє обчислювати ухили та експозиції схилів, будувати геоморфологічні профілі, розпізнавати вершини і западини рельєфу, аналізувати поверхневий стік території, визначити площі затоплюваних та підтоплюваних територій та надалі прогнозувати зміни в ландшафтній структурі території парку. Проблема підтоплення може бути актуальною, зокрема у зв'язку із змінами динаміки рівня води р. Мерла у весняний період.

Цифрові моделі рельєфу НПП «Слобожанський» – важливий інструмент, що дає кількісні показники для вирішення багатьох науково-практичних завдань: організації раціонального природокористування на території парку, прогнозування та оцінки рівня потенційних загроз, моніторингу екологічної ситуації та удосконалення функціонально-режимного зонування.



**Рис. 4** – Цифрова модель рельєфу (TIN) Краснокутського району із зазначеними межами НПП «Слобожанський»

### Висновки

На території національного природного парку «Слобожанський» мешкають унікальні представники флори та фауни, значна кількість яких потребує особливого охорони та захисту. Рідкісна рослинність вільхових лісів на заплавній діброві представлена угрупованнями занесеними до Зеленого списку Харківської області. Загалом, у заплавах та призаплавних ділянках відмічена велика кількість видів занесених до Червоної книги України та до Європейського червоного списку. Це вказує на унікальність заплавних ділянок р. Мерла та їх непересічну значимість у збереженні видового різноманіття рослинних і тваринних угруповань краю. Аналізу цифрової моделі

рельєфу долини р. Мерла, підтверджує тезу про генетичну і динамічну єдність ландшафтів НПП.

Таким чином, ґрунтуючись на висновках даного дослідження та беручи до уваги попередній доробок вчених [2-8, 16-22] можна впевнено стверджувати, що включення заплави р. Мерла, що знаходиться між двома ділянками НПП «Слобожанський» до його складу, забезпечить збереження ландшафтного та біологічного різноманіття даної території. Це дозволить виконати умови Національної програми формування екологічної мережі України та вимоги включення її до Пан-Європейської екомережі.



## 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. Закон України «Про Загальнодержавну програму формування національної екологічної мережі України на 2000-2015 роки». URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1989-14>.
2. Філатова О. В., Саїдахмедова Н. Б., Клімов О. В. НПП «Слобожанський». *Фіторізноманіття заповідників і національних природних парків України. Ч.2. Національні природні парки*. Під ред. В. А. Онищенко, Т. Л. Андрієнко. К.: Фітосоціоцентр, 2012. С. 486–495.
3. Філатова О. В., Клімов О. В. Раритетне фіторізноманіття запроєктованого національного природного парку „Слобожанський”. *Екологія: наука, освіта, природоохоронна діяльність: матеріали міжнар. наук.-практ. конф.* Київ: Наук. світ, 2007. С. 68-69.
4. Проект створення національного природного парку «Слобожанський». Харків, 2009. 124 с.
5. Літопис природи Національного природного парку «Слобожанський» (за 2015 рік). Рукопис. Краснокутськ, 2016. Т. 4. 303 с.
6. Безроднова О. В. Раритетна фракція флори національного природного парку «Слобожанський» (вивчення й охорона). *Регіональні аспекти флористичних і фауністичних досліджень: матеріали 4 міжнар. наук.-практ. конф. (сmt Путила, Чернівецька обл., 28–29 квітня 2017 р.,).* Нац. природ. парк «Черемоський» та ін. Чернівці : Друк Арт, 2017. С. 44-47.
7. Безроднова О. В., Саїдахмедова Н. Б. Збереження популяції *Diphasiastrum complanatum* (L.) Holub у НПП «Слобожанський». *Природоохоронні території в минулому, сучасному й майбутньому світі (до 130-річчя створення «Пам'ятки Пеняцької» – першої природоохоронної території у Європі): матеріали 2 міжнар. наук. конф. (Львів – Броди – Пеняки, 26–27 жовтня 2016 року)*. Львів: Ліга-Прес, 2016. С. 39–42.
8. Безроднова О. В., Саїдахмедова Н. Б. Фітоіндикація екологічних режимів як інструмент моніторингу біотопів НПП «Слобожанський». *Збереження біологічного та ландшафтного різноманіття як складова екологічного та патріотичного виховання населення України: матеріали наук.-практ. конф. (м. Святогірськ, 7–8 липня 2016 р.)*. Святогірськ: Центр екологічної освіти та інформації, 2016. С. 138–143.
9. Горелова Л. Н., Алехин А. А. Растительный покров Харьковщины: очерк растительности, вопросы охраны, аннотированный список сосудистых растений. Харьков: ХНУ, 2002. 231 с.
10. Павлович Л. М. Очерки растительности Харьковской губернии и соседних с нею мест. *Харьковский сборник*. 1889. Т.4. С.26 – 53.
11. Черняев В. М. Конспект растений, дикорастущих и разводимых в окрестностях Харькова и в Украине. (1769 таксонов). Харьков: Тип. ун-та, 1859. 90 с.
12. Краснов А. Н. Рельеф, растительность и почвы Харьковской губернии. Харьков: Типография Зильберберга, 1893. 141с.
13. Галиев В. И. Природа и население Слободской Украины: Харьковская губерния. Харьков: Союз, 1918. 322 с.
14. Наумов А. И. Флора окрестностей села Рублевки Богодуховского уезда. *Труды Харьковского общества испытателей природы при Харьковском Университете*. Т. 37. 1902. С. 51-150.
15. Орлов М. М. Лесное хозяйство в Харьковских имениях. *Л.Е. Кениг-наследники*. СПб, 1913. 185 с.
16. Філатова О. В., Клімов О. В. Фітосозологічна цінність ценозів запроєктованого Слобожанського національного природного парку. *Заповідна справа в Україні*. 2008. Т. 14. Вип. 2. С. 50–54.
17. Безроднова О. В., Клещ А. А. Рослинний покрив прибережної та берегової зон лісових боліт НПП «Слобожанський» (особливості структури та напрямки трансформації). *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Сер. Біологія*. 2019. №32. С. 5–17. URL: <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2019-32-1>
18. Шумілова А.В. Оцінка рекреаційного навантаження на ландшафти НПП «Слобожанський». *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. №1-2. 2014. С. 70-74. URL: <https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/article/view/882>
19. Шумілова А. В., Максименко Н. В. Рекреаційне навантаження на ландшафти НПП «Слобожанський». *Охорона довкілля : матеріали X Всеукраїнських наукових Таліївських читань, (Харків, 17-18 квітня 2014 року)*. Харків : ХНУ, 2014. С. 290-294.

20. Maksymenko N., Kleshch A., Titenko G., Shumilova A., Cherkashyna N. Soils Assessment in Natural and Anthropogenic Landscapes for Environmental Management. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR)*. 2017. Vol.3, Issue 6. P.776-781.
21. Shumilova A.V. A century-long evolution of the national park "Slobozhansky" landscapes. *Scientific letters of Academic Society of Michal Baludansky*. Vol. 4. No.4. 2016. P.81-84.
22. Шумілова А.В. Джерела антропогенного впливу на територію національного природного парку «Слобожанський». *Сучасні наукові дослідження та розробки: теоретична цінність та практичні результати*: матеріали наук.-практ. конф. (15-18 березня 2016, м. Братислава, Словаччина). 2016. С.206-207.
23. Червона книга України. Рослинний світ. За ред. Я. П. Дідуха. К.: Глобалконсалтинг, 2009. 900 с.
24. Перелік видів, що підлягають особливій охороні на території Харківської області (Рішення Харківської обл. ради від 25.09.2001р.) Харків, 2001. 7с.
25. Клімов О. В., Вовк О. Г., Філатова О. В. та ін. Природно-заповідний фонд Харківської області. Харків: Райдер, 2005. 304 с.

## References

1. The Law of Ukraine "About the National Program of Formation of the National Ecological Network of Ukraine for 2000-2015". Retrieved from <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1989-14> (in Ukrainian).
2. Filatova, O. V., Saidakhmedova, N. B. & Klimov, O. V. (2012). NNP Slobozhanskyi. Phytodiversity of nature reserves and national nature parks of Ukraine. In V. A. Onyshchenko, T. L. Andriyenko (Eds.). *Part 2. National nature parks* (pp. 486–495). Kyiv: Phytosociocentre (in Ukrainian).
3. Filatova, O. V. & Klimov, O. V. (2007). Rare phyto-diversity of the projected Slobozhansky National Nature Park. *Proceedings of the International Research Practice Conference: Ecology: science, education, nature conservation*. Kyiv: Sciences World, 68-69 (in Ukrainian).
4. *The project of creation of the Slobozhansky National Nature Park*. (2009). Kharkiv (in Ukrainian).
5. *Chronicle of nature of the Slobozhansky National Nature Park (for 2015)*. (2016). Manuscript. Krasnokutsk. 4 (in Ukrainian).
6. Bezrodnova, O. V. (2017). A rare fraction of the flora of the Slobozhansky National Nature Park (study and protection). *Proceedings of 4th International Research Practice Conference: Regional Aspects of Floristic and Faunistic Studies*, Putyla, Chernivtsi region, Ukraine, 2017, 28–29 Apr (pp.44-47). *Nation. nature. Cheremoski Park and others*. Chernivtsi: Print Art. 44-47 (in Ukrainian).
7. Bezrodnova, O. V. & Saidakhmedova, N. B. (2016). Conservation of the *Diphasiastrum complanatum* (L.) Holub population in Slobozhansky NPP. *Proceedings of the 2nd International Scientific Conference: Conservation areas in the past, present and future of the world* (up to the 130th anniversary of the creation of Peniatsky Monument - the first nature conservation area in Europe), Lviv - Brody - Peniaky, 2016, October 26-27 (pp.39–42). Lviv: Liga Press (in Ukrainian).
8. Bezrodnova, O. V. & Saidakhmedova, N. B. (2016). Phytoindication of ecological regimes as a tool for monitoring the biotopes of the Slobozhansky NPP. *Proceedings of the Research Practice Conference: Conservation of biological and landscape diversity as a component of environmental and patriotic education of the population of Ukraine*, Svyatogirsk, 2016, July 7-8 (pp.138-143). Svyatogirsk: Center for Environmental Education and Information (in Ukrainian).
9. Gorelov, L. N. & Alekhin, A. A. (2002). *Vegetable cover of Kharkiv region: an outline of vegetation, issues of protection, annotated list of vascular plants*. Kharkiv: KhNU (in Russian)
10. Pavlovich, L. M. (1889). *Sketches of vegetation of the Kharkov province and its neighboring places*. Kharkov Collection, 4, 26 – 53 (in Russian)
11. Chernyaev, V. M. (1859). *Abstract of plants, wild and cultivated in the vicinity of Kharkov and in Ukraine*. (1769 taxa). Kharkov: Type. Univ (in Russian)
12. Krasnov, A. N. (1893). *Relief, vegetation and soil of the Kharkov province*. Kharkov: Silberberg typography (in Russian)
13. Taliyev, V. I. (1918). *Nature and population of Sloboda Ukraine: Kharkiv province*. Kharkov: Union (in Russian)
14. Naumov, A. I. (1902). The flora of the surroundings of the village of Rublevka, Bohodukhovsky district *Proceedings of the Kharkov Society of Nature Examiners at Kharkov University*, 37 (in Russian)
15. Orlov, M. M. (1913). *Forestry in the Kharkov estates*. St. Petersburg: L.E. Heirs of Koenig (in Russian)
16. Filatova, O. V. & Klimov, O. V. (2008). Phytosociological value of coenoses of the designed Slobozhansky National Nature Park. *Conservation business in Ukraine*, 14 (2), 50–54 (in Ukrainian).
17. Bezrodnova, O. V., & Kleshch, A. A. (2019). Vegetation cover of riparian and coastal zones of forest swamps in the Slobozhansky National Nature Park (structural features and direction of transformation). *The*

- Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series "Biology", (32), 5–17. <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2019-32-1> (in Ukrainian).*
18. Shumilova, A. V. (2014). Assessment of recreational load on the landscapes of NPP "Slobozhansky". *Man and environment. Issues of neocology*, (1-2), 70-74. Retrieved from <https://periodicals.karazin.ua/humanenvirom/article/view/882> (in Ukrainian).
  19. Shumilova, A. V. & Maksymenko, N. V. (2014). Recreational load on landscapes of NPP "Slobozhansky". *Proceedings of the 10th All-Ukrainian Scientific Taliev Readings: Environmental protection*, Kharkiv, 2014, April 17-18 (pp. 290-294). Kharkiv: KhNU (in Ukrainian).
  20. Maksymenko, N., Klieshch, A., Titenko, G., Shumilova, A. & Cherkashyna, N. (2017). Soils Assessment in Natural and Anthropogenic Landscapes for Environmental Management. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR)*, 3 (6), 776-781.
  21. Shumilova, A. V. (2016). A century-long evolution of the Slobozhansky National Park landscapes. *Scientific letters of the Academic Society of Michal Baludansky*, 4(4), 81-84.
  22. Shumilova, A. V. (2016). Sources of anthropogenic impact on the territory of the Slobozhansky National Nature Park. *Proceedings of the Scientific and Practical Conference: Modern research and development: theoretical value and practical results*, Bratislava, Slovakia, 2016, March 15-18 (pp. 206-207). Bratislava (in Ukrainian).
  23. Didukha, Ya. P. (Ed.). (2009). *Red Book of Ukraine. Plant life*. Kyiv: Global Consulting (in Ukrainian).
  24. List of Species Subject to Special Protection in the Territory of Kharkiv Region. (2001). *Decision of Kharkiv Regional Council* dated 25.09.2001. Kharkiv (in Ukrainian).
  25. Klimov, O. V., Vovk, O. G., Filatova, O. V. & etc. (2005). *The Nature Reserve Fund of Kharkiv region*. Kharkiv: Ryder (in Ukrainian).

Надійшла до редколегії 02.04.2020

Прийнята 15.04.2020

## ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК (UDC) 504.054 : 634.8.03/.05 (477.54)

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-22-03>

А. Н. НЕКОС<sup>1</sup>, д-р геогр. наук, проф., Б. О. ШУЛІКА<sup>2</sup>, канд. геогр. наук, доц.,  
О. В. МАЛЬЧУК<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна  
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна

e-mail: [alnekos999@gmail.com](mailto:alnekos999@gmail.com)  
[shulika91@gmail.com](mailto:shulika91@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1852-0234>  
<https://orcid.org/0000-0002-2427-4124>

[olgamalchuk@gmail.com](mailto:olgamalchuk@gmail.com)

### ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ЯКІСТЬ РОСЛИННИХ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ (НА ПРИКЛАДІ ВИНОГРАДУ)

**Актуальність.** Вирощування винограду в останні роки стає дедалі популярним ремеслом, особливо серед звичайних фермерів. Виноград унікальний за своїм складом продукт, до того ж надзвичайно корисний. Тому визначення його якості та екологічної безпеки щодо споживання населенням є досить актуальним.

**Мета.** Визначення екологічної безпеки та якості рослинних продуктів харчування (на прикладі винограду), вирощеного у смт. Високий Харківського району Харківської області.

**Методи.** Польові, методи атомно-абсорбційної спектроскопії з використанням спектрометра МГА-915МД, статистичні, аналітичні, порівняльно-географічні.

**Результати.** Досліджено ягоди та кісточки 10 сортів винограду, а також зразки ґрунту, як середовища місцезростання винограду. Визначено концентрації важких металів (Zn, Cu, Cd, Cr, Pb) і нітратів у плодовій частині винограду. Встановлено, що у ягодах та кісточках у жодного із сортів винограду концентрації важких металів не перевищують нормативних показників. У зразках ґрунту перевищення ГДК за важкими металами також не визначено. Спостерігається у виноградних ягодах перевищення нормативних показників за нітратами у середньому у 1,5 рази. Показники коефіцієнту біогеохімічної рухливості за важкими металами вказують на те, що найбільше накопичуються у плодовій частині винограду Cu та Cr.

**Висновки.** Концентрація важких металів у плодовій частині та у кісточках всіх сортів винограду, а також у ґрунтах не перевищує нормативів. Незначні перевищення нормативів за нітратами визначені у плодовій частині винограду. В цілому виноград може використовуватися населенням як харчовий продукт.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** виноград, виноградні кісточки, ґрунт, важкі метали, нітрати

Nekos A. N., Shulika B. O., Malchuk O. V.

V.N. Karazin Kharkiv National University

### ENVIRONMENTAL SAFETY AND QUALITY OF PLANT FOOD (EXAMPLE OF GRAPES)

**Actuality.** Growing grapes in recent years has become increasingly popular, especially among ordinary farmers. Grapes are unique in their composition, and also extremely useful. Therefore, the determination of its quality and environmental safety in terms of consumption by population is quite topical.

**Purpose.** Determination of ecological safety and quality of plant food (example of grapes) grown in Vysokiy settlement, Kharkiv district of Kharkiv region.

© Некос А. Н., Шуліка Б. О., Мальчук О. 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.** Field, atomic absorption spectrometry method using the spectrometer MGA-915MD, statistical, analytical, comparative-geographical.

**Results.** Berries, grape seeds of 10 grape varieties and soil samples as grape growing medium, were analysed. Analyses for heavy metals (Zn, Cu, Cd, Cr, Pb) concentrations and nitrates content in fruit part were performed. It has been determined that heavy metals concentrations in any of the grape varieties does not exceed the normative parameters in berries and seeds. Soil samples also have not shown an excess of MPC. The content of nitrates in the fruit part of the grapes exceeded the standard by 1.5 fold. The coefficient of heavy metals biogeochemical mobility has showed the highest accumulation of Cu and Cr in the fruit part of the grapes.

**Conclusions.** The concentration of heavy metals in the fruit part of the grapes, in the seeds of all grape varieties does not exceed the standards. No clear dependence has been identified to assert the accumulation of heavy metals in grape seeds. Nitrates can accumulate in the fruit part of the grapes. Minor violation of standard for nitrate was identified in the fruit part of the grapes. In general, grapes can be used by the population as a food.

**KEYWORDS:** grapes, grape seed, soil, heavy metals, nitrates, heavy metals, nitrates

**Некос А. Н., Шулика Б. А., Мальчук О. В.**

*Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина*

### **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И КАЧЕСТВО РАСТИТЕЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ВИНОГРАДА)**

**Актуальность.** Выращивание винограда в последние годы становится все популярным ремеслом, особенно среди обычных фермеров. Виноград уникальный по своему составу продукт, к тому же чрезвычайно полезен. Поэтому определение его качества и экологической безопасности по потреблению населением является весьма актуальным.

**Цель.** Определение экологической безопасности и качества растительных продуктов питания (на примере винограда), выращенного в пгт. Высокий Харьковского района Харьковской области.

**Методы.** Полевые, методы атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием спектрометра МГА-915МД, статистические, аналитические, сравнительно-географические.

**Результаты.** Исследована ягода и косточки 10 сортов винограда, а также образцы почвы, как среда произрастания винограда. Определены концентрации тяжелых металлов (Zn, Cu, Cd, Cr, Pb) и нитратов в плодовой части винограда. Установлено, что в ягодах и косточках ни у одного из сортов винограда концентрации тяжелых металлов не превышают нормативных показателей. В образцах почвы превышений ПДК по тяжелыми металлами также не определено. Наблюдается в виноградных ягодах превышение нормативных показателей по нитратам, в среднем в 1,5 раза. Показатели коэффициента биогеохимической подвижности тяжелыми металлами указывают на то, что больше всего накапливаются в плодовой части винограда Cu и Cr.

**Выводы.** Концентрация тяжелых металлов в плодовой части и в косточках всех сортов винограда, а также в почве не превышает нормативов. Незначительные превышения нормативов по нитратам определены в плодовой части винограда. В целом виноград может использоваться населением как пищевой продукт.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** виноград, виноградные косточки, почва, тяжелые металлы, нитраты

### **Вступ**

У сучасних умовах життя проблема безпеки та якості продуктів харчування є однією з головних умов збереження здоров'я та життя людини. Проблема безпеки продуктів харчування – складна та комплексна і вимагає чисельних зусиль для її вирішення, як з боку науковців, так і з боку виробників, санітарно-епідеміологічних служб, державних органів і, нарешті, споживачів.

Несприятлива сучасна екологічна ситуація в Україні веде до забруднення питної води, повітряного басейну, ґрунтів і, як наслідок, – харчових продуктів. Харчові продукти є не тільки основою різноманітного харчування, а й інколи можуть стати причиною тяжких захворювань [1]. Ура-

ження людей шкідливими речовинами трофічним шляхом становить 80 % випадків проникнення в організм чужорідних речовин, тому тема екологічної безпеки продуктів харчування на сьогодні є достатньо актуальною.

На сьогоднішній день дослідження безпеки продуктів харчування є однією з важливіших проблем, для вирішення якої необхідно використовувати як систему різноманітних знань, так і визначень просторово-часових закономірностей впливу природних та антропогенних факторів. Природні умови, а саме географічні особливості безпосередньо впливають на хімічний склад, і як наслідок, на якість та безпеку продуктів харчування рослинного похо-

дження. Насамперед, це співвідношення тепла і вологи, ґрунтові властивості, кількість та склад атмосферних опадів, роси, пилу [2], а також антропогенні джерела, які впливають на якість атмосферного повітря.

Культурний виноград (лат. *Vitis vinifera* L.) – дерев'яниста витка рослина (ліана) з опадаючим листям, що досягає віку 300 років. Важко назвати ще якусь культуру з числа корисних рослин, яка залишила б у історії людства такий слід і була предметом таких чисельних досліджень і турбот, як культура винограду. «Шлях життя проходить через виноград» – свідчить стародавня латинська приказка.

Як показують палеонтологічні дослідження, поява залишків дикорослого винограду *Vitis sylvestris* (C. C. Gmel.) в четвертинних відкладеннях Західної Європи збігається з появою людини. Надалі відбувається освоєння дикого винограду як культурної рослини. Пам'ятники матеріальної культури свідчать про те, що культура винограду почала розвиватися ще в доісторичні часи – 7–9 тис. років тому, а у Єгипті близько 7 тис. років тому виноград вже культивували на вертикальних шпалерах та формували стебло у вигляді дуг [3].

Виноград називають чарівним даром природи. І не тільки тому, що він приємний і смачний. У природі мало інших ягід, які б могли своїми поживними та й смаковими якостями змагатися з виноградом. У ньому сконцентровані життєво важливі для людини мінеральні та органічні речовини, вітаміни. Виноград унікальний за своїм складом, а тому – надзвичайно корисний. У харчовому, дієтичному і лікувальному відношенні – сік винограду є одним з найцінніших. Крім того, в ягодах винограду також міститься від 0,5 до 1,4% винної, яблучної та інших органічних кислот, 0,3–0,5% мінеральних речовин, в тому числі фосфору, заліза, кальцію та ін., 0,15–0,9% білка, 0,3–1% пектинів, а також вітаміни А (каротин), В<sub>1</sub> (тіамін, аневрін), В<sub>2</sub> (рибофлавін), С (аскорбінова кислота), В<sub>6</sub> (адермін), і Р (цитрин) [4].

Вирощування винограду завжди було значущим у аграрній справі та у розвитку культури виробництва вина. Його вирощують як для власного споживання, так і на продаж у великих та середніх фермерських господарствах. Виноград вживають у свіжому або засушеному вигляді, з нього варять компоти, джеми, варення, виготовляють соки та домашні і високоякісні вина.

Суттєве значення для отримання високого урожаю у різних районах вирощування, в різноманітних природних умовах, залежно від терміну дозрівання для різних сортів винограду необхідна різна сума активних температур (САТ) за період вегетації (вище +10°C) – від 2200°C в північних районах для ранніх сортів винограду до 3800–4200°C на півдні для сортів, які використовуються для приготування десертних вин і сушеного винограду. Так, для ранніх сортів винограду показник САТ знаходиться в межах 2400–2600 °C, для середніх сортів – 2700–2800 °C та відповідно для пізніх сортів – 2900–3000°C. Наприклад, САТ для Харківської області знаходиться в межах 2500–2800 °C. Тому можна стверджувати, що Харківський регіон підходить для вирощування винограду ранніх та середніх сортів [5, 6]. Коріння винограду (*Vitis vinifera* L.) виносять температуру до -5, -7°C, а пагони, що добре визріли, витримують короточасні морози до -20°C [3].

Столовий виноград в Україні входить в число п'яти найбільш необхідних для споживання людиною продуктів поряд з яблуками, річне споживання яких складає 450 тис. т, цитрусовими – 420 тис. т, бананами – 215 тис. т, грушами – 75 тис. т. Столового винограду і суниці споживається по 65 тис. т. При цьому споживання в країні столового винограду і переробленої продукції з нього знаходиться на вкрай низькому рівні. Це пов'язано з незадовільним станом виробництва, застарілими технологіями, диспаритетом цін і відсутністю сучасної бази зберігання і переробки, а так само можливості отримати доступні кредити для розвитку підприємства у цій сфері [7].

Ємність ринку столового винограду в Україні становить 450–500 тис. т при нормі споживання 12 кг на душу населення. Попри незначне зменшення площ під виноградними насадженнями валовий збір винограду в країні дещо збільшився завдяки сприятливим погоднокліматичним умовам. Зокрема, в 2018 році Україна збрала 467,6 тис. т винограду, а у 2017– 409,6 тис. т. Тобто, урожай винограду зріс на 58 тис. т, чи на 14,2 % [8]. У черговій програмі розвитку виноградарства і виноробства в Україні до 2025 року, ставиться завдання про збільшення обсягу споживання населенням столового винограду вітчизняного виробництва до 2025 р. Тобто, згідно з цією програмою, ми рухаємося в необхідному напрямку, хоча доволі поступово [9].



Особливе місце у дослідженні винограду займає вивчення виноградних кісточок. Виноградні кісточочки, як і будь-яке інше насіння, містять більш біологічно активний склад, ніж сам виноград. М'якоть винограду містить тільки 10% корисних речовин, а всі інші корисні речовини містяться саме в кісточці [10]. У результаті наукових досліджень було виявлено унікальну користь виноградних кісточок, що зумовлено насамперед хімічним складом рослини.

Хімічний склад виноградних кісточок є природним джерелом вітамінів і незамінних сполук для організму людини. Користь виноградних кісточок обумовлена високим вмістом вітаміну Е, а також біологічно активних сполук як кальцій і калій. Варто відзначити, що виноградні кісточочки різних сортів винограду виділяються своїм унікальним вітамінівно-мінеральним складом [10].

Також у складі кісточок винограду містяться дубильні речовини, ензими, фітонциди, які справляються з хвороботворними бактеріями, грибами, покращують травлення, зміцнюють стінки тканин тощо. Одна ложка олій кісточок винограду в день покриває добову норму вітаміну Е [10]. У кісточках винограду містяться такі мікроелементи, як селен, мідь, магній, цинк, що потрібні нашому організму для зміцнення імунітету і лікування розладів уваги. За даними [10] на 100 г виноградних кісточок, міститься така кількість вітамінів та мінералів: вітамін Е – 0,19 мг; лютеїн – 0,72 мг; вітамін А – 0,01 мг; вітамін С – 10,8 мг; вітамін РР – 0,19 мг; Са – 10 г; Р – 20 г; Mg – 7 г; К – 0,19 г; Na – 2 г.

Кісточочки винограду містять дуже сильні антиоксиданти, здатні нейтралізувати агресивну дію зовнішнього середовища на людину, уповільнювати його старіння, запобігати серцево-судинним захворюванням [2].

Фахівцями давно встановлена дія корисних властивостей виноградних кісточок на організм людини: захист від біологічного окисного стресу; стимуляція регенераційних функцій організму; уповільнення процесу старіння; нейтралізація агресивного впливу зовнішнього середовища; зміцнення стінок судин, повернення їх еластичності; зниження небезпеки утворення тромбів в судинах; поліпшення зору; стимуляція передачі нервових імпульсів, за рахунок чого відбувається підвищення концентрації уваги; протиалергенні властивості; антипаразитарні ефекти.

Найбільш насичений склад винограду вітамінами С, Е і РР, що володіють омолоджуючими властивостями і допомагають зміцнити загальний імунітет організму. З мінералів у винограді найбільше міститься Са, Р і Mg. Відсоток вмісту від добової норми не надто високий, але якщо регулярно приймати насіння винограду в їжу, то надалі ефект буде більш помітний [10].

Існує кілька варіантів прийому кісточок винограду: розжовувати цілком; приймати в порошковому вигляді; пити екстракт в таблетках або капсулах; використовувати віджате з кісточок масло.

Найпростіше, на перший погляд, просто зберегти виноградне насіння після поїдання самих ягід. А потім пережовувати, вживаючи в якості природної біологічної добавки. Але, пережовуючи кісточочки, можна пошкодити зуби або подряпати великими шматочками стінки шлунку або кишечника. Тому враховувати цей спосіб варто тільки якщо не доступні інші альтернативи [10].

Рослинна продукція, яку вирощують на приватних присадибних ділянках та у фермерських господарствах, може бути екологічно небезпечною та містити велику кількість шкідливих речовин, зокрема важкі метали та нітрати. Виноград є дуже поширеною культурою вирощування на приватних присадибних ділянках та фермерських господарствах. Тому важливо, щоб виноград та продукти його переробки принесли саме користь, а не шкоду для здоров'я людини [2].

Вже декілька десятиліть якість харчової продукції рослинного походження турбує фахівців різних напрямів наукових досліджень від ґрунтознавців до дієтологів. Рослинну продукцію людина вивчає дуже давно, ставлячи перед собою вирішення різних питань. Великий перелік сучасних науковців (Б. Б. Полинов, Л. Г. Раменський, А. Г. Ісаченко, Г. М. Мільков, О. І. Перельман, А. П. Виноградов, В. В. Добровольський, В. Б. Ільїн, С. А. Балюк, А. І. Фатєєв, В. В. Медведєв, Л. П. Малишева, І. М. Волошин, Т. М. Димань та ін.), які тим або іншим чином вирішують питання, що стосуються проблем екологічно безпечної харчування людини [11, 12].

Однак, у наукових джерелах майже не зустрічається або не значна кількість опублікованих результатів досліджень, що стосуються акумуляції важких металів (ВМ) у плодово-ягідній продукції, а саме у вино-

раді. Також практично не зустрічаються у наукових публікаціях результатів досліджень хімічного складу виноградних кісточок, бо значна кількість ВМ сконцентрована саме у рештках винограду [2]. У зв'язку з вище наведеним можливо сформулювати мету досліджень.

**Мета.** Визначення екологічної безпеки та якості рослинних продуктів харчування (на прикладі винограду), вирощеного у смт. Високий Харківського району Харківської області.

Одним з головних показників якості продуктів харчування є визначення вмісту в них різних забруднюючих речовин, зокрема важких металів. До важких металів відносять більше 40 металів періодичної системи Д. І. Менделєєва з атомною масою понад 50 атомних одиниць. Деякі з цих елементів необхідні для нормальної життєдіяльності людини. У більшості випадків важко провести чітку межу між біологічно необхідними і шкідливими для здоров'я людини речовинами. При цьому величезну роль відіграє концентрація мікроелемента, що надходить в організм людини. При підвищенні оптимального рівня концентрації важкого мета-

лу в організмі починається процес інтоксикації [13].

Важкі метали можуть викликати як гострі, так і хронічні отруєння, віддалені наслідки, у випадках споживання людиною продуктів, забруднених ними. Із них найбільше значення мають свинець, кадмій, миш'як та ртуть. Ці токсичні речовини мають канцерогенний, мутагенний та тератогенний вплив на організм людини [14].

З харчовими продуктами до організму людини надходить майже 70 важких металів, в основному мікроелементів. Усі вони можуть проявляти токсичність, якщо споживаються в надлишкових кількостях. Налічується 20 токсичних важких металів, але вони неоднаковою мірою токсичні. Їх поділяють на три класи небезпечності [1]:

- високої токсичності (найнебезпечніші) – Cd, Hg, Ni, Pb, Co, As;
- помірної токсичності – Cu, Zn, Mn;
- інші токсичні важкі метали.

Об'єднана комісія ФАО/ВОЗ щодо харчового кодексу (Codex Alimentarius) включила Hg, Pb, As, Cu, Zn, Fe до числа компонентів, склад яких контролюється при міжнародній торгівлі продуктами харчування [1].

### Методи дослідження

Дослідження проводились у традиційні етапи: підготовчий, польовий, аналітичний та камеральний. Польовий етап полягав у проведенні відбору зразків рослинної продукції та ґрунту.

Відбір проб ґрунту проводився відповідно до встановлених вимог стандартів згідно з ГОСТ 17.4.3.01-83, ГОСТ 17.4.4.02-84, ДСТУ 4287: 2004 та методичних рекомендацій. Зразки ґрунту відбирались методом конверту приблизною вагою по 150–200 г. Проби відбирались з орного шару ґрунту на глибину 0–30 см. Саме в цьому шарі, зосереджується основна маса коренів рослин і концентрується переважна більшість важких металів [15, 16].

Разом із зразками ґрунту відбирались зразки рослинної продукції, вирощеної на ньому. Відбір зразків рослинної продукції проводився відповідно до методичних рекомендацій, діючих нормативних документів і стандартів: ДСТУ ISO 874–2002 та ГОСТ 24027.0–80 [12].

Відбір рослинних проб проводився вранці після зникнення роси до настання спеки. Відбиралась репрезентативна рос-

линна продукція (без ознак захворювання, механічних пошкоджень та без ознак відтавання або випередження у розвитку). Вага середньої рослинної проби складала 500–700 г. Для більш детального дослідження особливостей розподілу мікроелементів по рослинному організму.

Аналітичний етап досліджень полягав у проведенні лабораторного аналізу відібраних зразків винограду та ґрунту для визначення вмісту рухомих форм важких металів методом атомно-абсорбційної спектроскопії. Аналітичні дослідження проводились згідно з атестованими методиками у навчально-дослідній лабораторії аналітичних екологічних досліджень у структурі навчально - наукового інституту екології ХНУ імені В. Н. Каразіна за допомогою атомно-абсорбційного спектрометру МГА–915МД. Метод атомної абсорбції ґрунтується на використанні здатності вільних атомів певних елементів селективно поглинати резонансне випромінювання з певною довжиною хвилі, яке притаманне кожному хімічному елементу.



Підготовка зразків ґрунту до аналізу проводилась відповідно до методичних рекомендацій та стандарту ГОСТ 17.4.4.02–84. Вміст рухомих форм мікроелементів у ґрунті визначався згідно з ДСТУ 4770.1:2007 та ДСТУ 4770.9:2007 у буферній амонійно-ацетатній витяжці (рН = 4,8) [17].

Підготовка зразків рослинної продукції проводилась згідно з вимогами методичних рекомендацій та діючих стандартів: для харчової рослинної продукції – ГОСТ 26929–94, для лікарських трав – ГОСТ 24027.0–80. Вміст хімічних елементів у

рослинних пробах визначався відповідно до вимог ГОСТ 30178–96.

Камеральний етап досліджень полягав у систематизації та аналізі інформації, отриманої на попередніх етапах. Базовими методами досліджень на цьому етапі були порівняльно-географічний, методи порівняння з нормативними показниками, аналітичний та статистичний. Для визначення рухомості та акумуляції рослинами мікроелементів розраховано коефіцієнта біоаккумуляції [12].

### Результати та обговорення

Для дослідження екологічної безпеки винограду обрано 10 різних сортів: «Візантія», «Шатен», «Лівадійський чорний», «Кентавр Магарача», «Донський місцевий», «Японський (Кьохо)», «Гурзуфський рожевий», «Каберне Совіньон», «Денисовський», «Подарунок Магарача», що вирощені у селищі Високий Харківського району Харківської області (рис. 1). Високий – одне з найбільших селищ поблизу міста Харків. Розташоване на південному заході у 15 км від Харкова.

В ході проведення експериментальних досліджень ягід винограду та виноградних кісточок з метою виявлення нітратів та важких металів (Cr, Zn, Cu, Cd та Pb) досліджено 10 різних сортів (табл. 1) у лабораторії аналітичних екологічних досліджень навчально – наукового інституту екології Харківського національного університету імені В.

Н. Каразіна за допомогою атомно-абсорбційного спектрометра МГА–915МД.

З нормативних документів відомо, що норма вмісту нітратів у плодовій частині винограду дорівнює 60 мг/кг. Результати досліджень, які відображені на рис. 2, показують, що лише у винограді сортів «Донський місцевий» та «Денисовський» визначено вміст нітратів, що не перевищує нормативних показників, а у ягодах всіх інших сортів винограду зафіксовано незначне перевищення нітратів у 1,06-1,62 рази. При цьому слід зауважити, що при вирощуванні винограду у даному фермерському господарстві мінеральні азотні добрива не використовувалися.

Вміст нітратів у різних сортах винограду представлено на рис. 2.

Що стосується концентрації ВМ у плодовій частині винограду, то у ягодах жодного із сортів винограду не визначені

Таблиця 1

Показники концентрації важких металів у винограді, мг/кг

№	Сорт винограду	Назва речовини				
		Cr	Zn	Cu	Cd	Pb
1.	Візантія	0,015	1,042	2,512	0	0,002
2.	Шатен	0,019	0,776	2,436	0,00012	0,0016
3.	Лівадійський чорний	0,013	0,0783	1,790	0,0003	0,0021
4.	Кентавр Магарача	0,012	0,963	1,492	0,00045	0,0018
5.	Донський місцевий	0,014	0,804	1,453	0	0,0091
6.	Японський (Кьохо)	0,012	0,617	2,348	0	0,0089
7.	Гурзуфський рожевий	0,018	0,009	1,593	0,00016	0,0004
8.	Каберне Совіньон	0,016	0,771	3,884	0,00004	0,0159
9.	Денисовський	0,012	1,003	1,453	0	0,0014
10.	Подарунок Магарача	0,008	0,046	1,885	0	0
	ГДК [17]	0,02	10,0	5,0	0,03	0,5

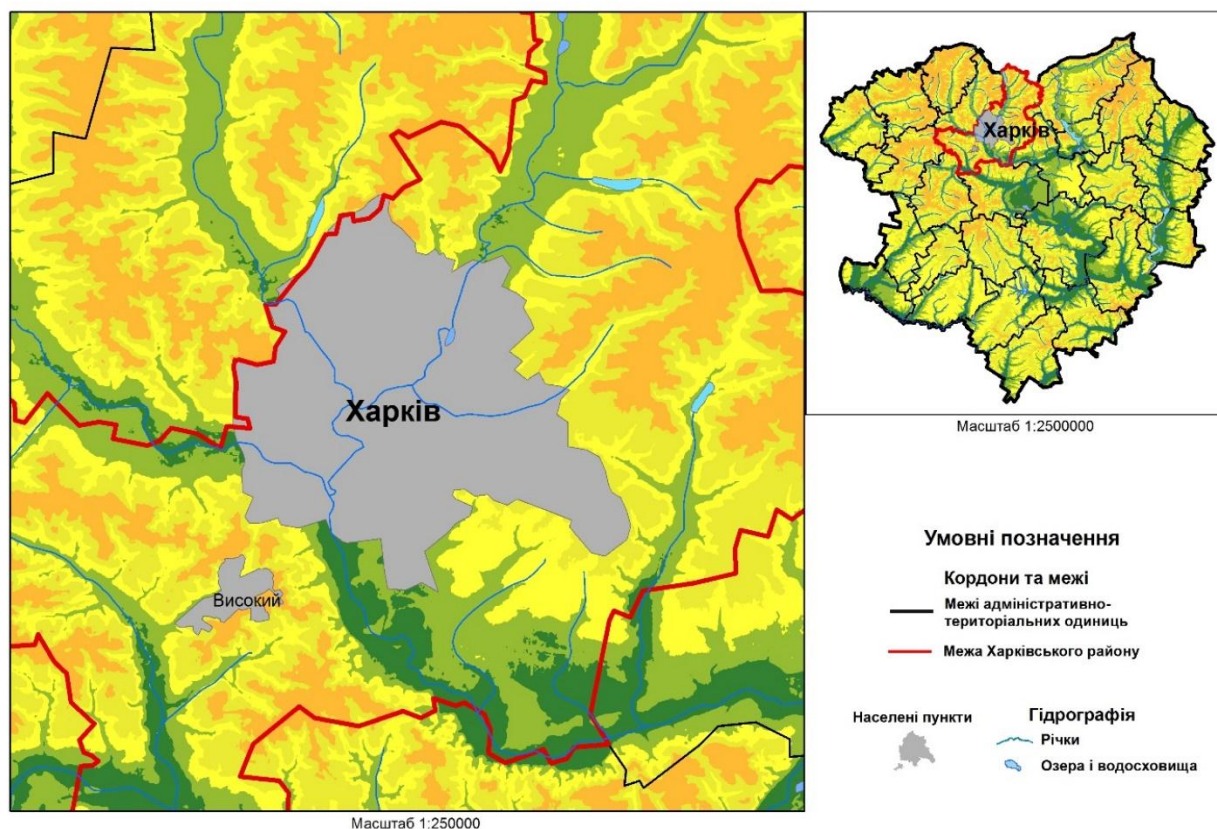


Рис. 1 – Сміт Високий Харківського району Харківської області

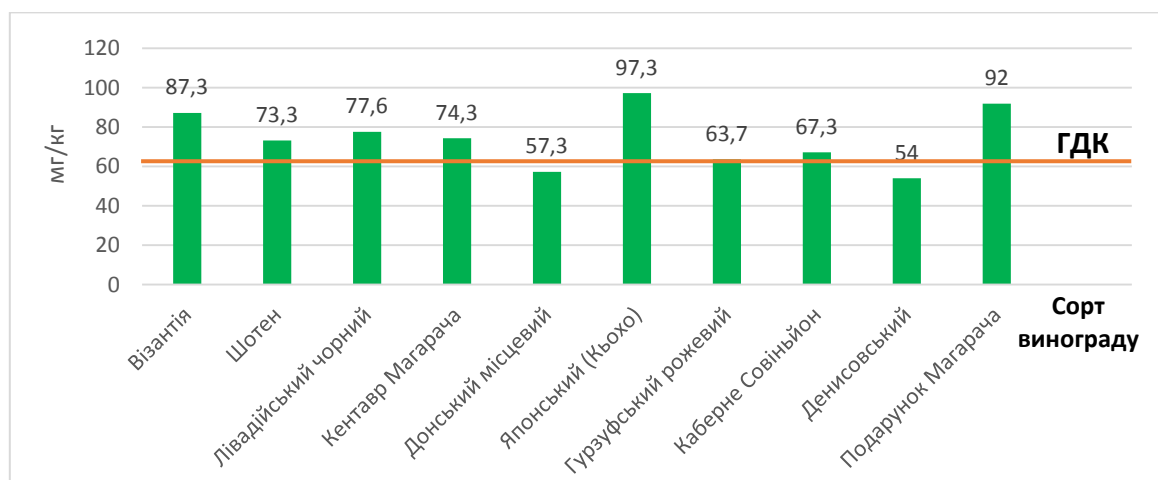


Рис. 2 – Вміст нітратів у винограді, мг/кг

перевищення ГДК [18]. Найвищі показники за Сг визначені у ягодах винограду сортів «Шатен», «Гурзуфський рожевий» та «Каберне Совіньйон» – 0,019 мг/кг, 0,018 мг/кг та 0,016 мг/кг відповідно. За вмістом Zn найвищі показники мають ягоди винограду «Візантія», «Денисовський» та «Кентавр Магарача». Найбільша концентрація Cu

спостерігається у ягодах винограду «Каберне Совіньйон», «Візантія» та «Шатен» – 3,884 мг/кг, 2,512 мг/кг та 2,436 мг/кг відповідно. Вміст Cd у 50% досліджуваних сортів винограду взагалі не виявлено, а дуже незначні концентрації визначені у ягодах винограду «Кентавр Магарача», «Лівадійський чорний» та «Гурзуфський роже-

вий». Що стосується концентрації Pb, то найвищі концентрації мають ягоди винограду «Каберне Совіньйон», «Донський місцевий» та «Японський (Кьохо)».

Відомо, що надходження важких металів до споживчої частини рослини відбувається двома шляхами – через кореневу систему та аеральним шляхом через повітря. Для визначення біохімічної рухливості важких металів було здійснено хімічний аналіз ґрунту, як середовища місцезростання обраних для дослідження сортів винограду. Встановлені значення рухомих форм ВМ у зразках ґрунту не перевищують значень ГДК [19]: Cr – 0,0066; Zn – 5,6282; Cu – 0,0765; Pb – 0,024; Cd – 0,1187 (мг/кг).

Під час досліджень, як варіант коефіцієнта біологічного поглинання, розраховано коефіцієнт біогеохімічної рухливості ( $B_x$ ) [20] як відношення вмісту хімічного елемента у сухій масі рослин до його рухомих форм у ґрунті:

$$B_x = \frac{C_{\text{росл.}}}{C_{\text{(рух.)ґрунт}}}, \quad (1)$$

де  $C_{\text{росл.}}$  – вміст хімічного елемента у сухій речовині рослин;

$C_{\text{(рух.) ґрунт}}$  – вміст рухомих форм хімічного елемента у ґрунті [20].

Розрахунок коефіцієнта біогеохімічної рухливості  $B_x$  надав змогу виявити актуальну доступність хімічних елементів для рослин і ступінь використання ними рухомих форм важких металів (табл. 2).

Найбільш інтенсивно Cr поглинається з ґрунту плодами винограду сорту «Шатен», «Гурзуфський рожевий» та «Каберне Совіньйон» (2,87, 2,72 та 2,42 відповідно). Що стосується Zn, то найбільш інтенсивно Zn поглинається з ґрунту плодами винограду сорту «Візантія», «Денисовський» та «Кентавр Магарача». Найбільш інтенсивно Cu поглинається з ґрунту ягодами винограду «Каберне Совіньйон», «Візантія» та «Шатен». Поглинання Cd з ґрунту найбільш інтенсивно спостерігається у ягодах винограду «Кентавр Магарача», «Лівадійський чорний» та «Гурзуфський рожевий». Найбільш інтенсивно Pb поглинається з ґрунту ягодами сортів винограду «Каберне Совіньйон», «Донський місцевий» та «Японський (Кьохо)».

Таблиця 2

Коефіцієнти біогеохімічної рухливості  $B_x$  для винограду

№	Сорт винограду	Хімічний елемент				
		Cr	Zn	Cu	Pb	Cd
1.	Візантія	2,27	0,18	32,84	-	0,017
2.	Шатен	2,87	0,13	31,84	0,005	0,013
3.	Лівадійський чорний	1,96	0,013	23,39	0,013	0,018
4.	Кентавр Магарача	1,81	0,17	19,50	0,019	0,015
5.	Донський місцевий	2,12	0,14	18,99	-	0,077
6.	Японський (Кьохо)	1,81	0,11	30,69	-	0,075
7.	Гурзуфський рожевий	2,72	0,0016	20,82	0,0067	0,0034
8.	Каберне Совіньйон	2,42	0,14	50,77	0,0017	0,134
9.	Денисовський	1,81	0,18	18,99	-	0,012
10.	Подарунок Магарача	1,21	0,0081	24,64	-	-

Розрахунок коефіцієнтів біогеохімічної рухливості за всіма металами показав, що найбільш інтенсивно поглинають мікроелементи з ґрунту ягоди винограду «Каберне Совіньйон», «Візантія», «Шатен», «Гурзуфський рожевий» та «Кентавр Магарача».

Використовуючи результати попередніх досліджень, встановлено, що найбільша концентрація ВМ зафіксована саме у кісточках винограду, а не в його плодовій частині. Виноградні кісточка 10-ти сортів

винограду досліджено для виявлення концентрації 5 важких металів – Cr, Zn, Cu, Cd та Pb (табл. 3).

Результати представлені в табл. 3 показують, що концентрації ВМ у виноградних кісточках так само, як і у плодовій частині винограду не перевищують значень ГДК (для порівняння взято ГДК для рослинних продуктів харчування).

Найвищі показники концентрації за Cr у виноградних кісточках мають такі

Таблиця 3

Показники концентрації у виноградних кісточках різних сортів винограду, мг/кг

№	Сорт винограду	Хімічні елементи				
		Cr	Zn	Cu	Cd	Pb
1.	Візантія	0,0098	0,7982	1,2303	0,0017	0
2.	Шатен	0,0042	1,2729	6,3827	0,00086	0
3.	Лівадійський чорний	0,0085	0,4392	4,7205	0,00012	0
4.	Кентавр Магарача	0,0344	0,6073	4,7254	0	0,00102
5.	Донський місцевий	0,0934	0,8974	7,6621	0,0012	0,00098
6.	Японський (Кьохо)	0,0029	0,9063	4,237	0,0015	0,0004
7.	Гурзуфський рожевий	0,0094	0,0173	0,8853	0,00099	0
8.	Каберне Совіньйон	0,0038	0,0172	2,152	0	0,0006
9.	Денисовський	0,0122	0	2,6884	0	0
10.	Подарунок Магарача	0,0033	0,9264	1,2893	0	0
11.	ГДК [17]	0,02	10,0	5,0	0,03	0,5

сортів винограду, як «Донський місцевий», «Кентавр Магарача» та «Денисовський». За вмістом Zn найвищі показники концентрації мають кісточка винограду «Шатен», «Подарунок Магарача» та «Японський (Кьохо)». Найбільша концентрація Cu спостерігається у кісточках сортів винограду «Донський місцевий», «Шатен» та «Кентавр Магарача». За вмістом Cd найвищі концентрації спостерігаються у кісточках сортів винограду «Візантія», «Японський (Кьохо)» та «Донський місцевий». Що стосується концентрації Pb, то найвищі концентрації мають кісточка сортів винограду, як «Кентавр Магарача», «Донський місцевий» та «Каберне Совіньйон».

Порівнюючи результати досліджень викладені у табл. 2 і табл. 3 можна зробити неоднозначні висновки. З однієї сторони показники концентрації ВМ у винограді та виноградних кісточках показують, що найбільшу частину важких металів акумулюють кісточка винограду (у 6 сортах з 10) і це твердження можливо спостерігати на прикладі показників концентрації Cu у винограді та виноградних кісточках. У сортах

винограду «Шатен», «Лівадійський чорний», «Кентавр Магарача», «Донський місцевий», «Японський», «Денисовський» спостерігається перевищення вмісту Cu у виноградних кісточках в порівнянні з плодовою частиною в 2 – 5 разів. З іншого боку визначено, що в більшості випадків в плодовій частині винограду концентрація ВМ більша або на тому ж рівні, ніж у виноградних кісточках. Цю тенденцію можливо спостерігати на прикладі вмісту Cr у плодовій частині винограду та виноградних кісточках. Тільки у плодах сортів винограду «Кентавр Магарача», «Донський місцевий» та «Денисовський» визначено показники концентрації Cr більше у виноградних кісточках, ніж у плодовій частині. У всіх інших сортах винограду концентрація Cr у плодовій частині більша, ніж у виноградних кісточках в 1,5-4,5 рази.

Результати виконаних досліджень щодо вмісту важких металів у винограді та виноградних кісточках показали, що важкі метали акумулюються як в кісточках, так і в плодовій частині винограду.

### Висновки

Столовий виноград в Україні входить в число п'яти найбільш необхідних для споживання людиною продуктів. При цьому споживання в Україні столового винограду і переробленої з нього продукції знаходиться на вкрай низькому рівні. Ємність ринку столового винограду в країні становить 450-500 тис. т при нормі споживання 12 кг на душу населення, тобто в 8,5 разів нижче норми.

Хімічний аналіз ґрунту, який є місцезростанням обраних для дослідження сортів

винограду, показав, що у зразках ґрунту концентрації важких металів не перевищують значень ГДК.

Концентрація важких металів у плодовій частині та у кісточках всіх сортів винограду у більшості значень не перевищує ГДК. У кісточках сортів винограду «Шатен», «Лівадійський чорний», «Кентавр Магарача», «Донський місцевий», «Японський», «Денисовський» спостерігається підвищення у 1,8 – 5,2 рази вмісту Cu у порівнянні з плодовою частиною. У плодовій

частині сортів винограду «Шатен», «Лівандійський чорний», «Японський (Кьохо)», «Гурзуфський рожевий», «Каберне Совін'йон», «Подарунок Магарача» концентрація Сг більша, ніж у виноградних кісточках в 1,5-4,5 рази.

У ягодах винограду сортів «Донський місцевий» та «Денисовський» вміст нітратів знаходиться у межах норми. У всіх інших сортах встановлені незначні перевищення

нітратів у середньому у 1,5 рази, при тому, що азотні мінеральні добрива при вирощуванні не використовувалися.

Розрахований за всіма металами коефіцієнт біогеохімічної рухливості показав, що найбільш інтенсивно поглинають мікроеlementи з ґрунту ягоди винограду «Каберне Совін'йон», «Візантія», «Шатен», «Гурзуфський рожевий» та «Кентавр Магарача».

### 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. Димань Т. М., Барановський М. М., Білявський Г. М. Екотрофологія. Основи екологічно безпечного харчування: навчальний посібник. За наук. ред. Т. М. Димань. Київ: Лібра, 2006. 304 с.
2. Некос А. Н., Мальчук О. В. Особливості концентрації важких металів у винограді та продуктах його переробки. *Вісник ХНУ серія Екологія*. 2015. Вип. 12. С. 106-113. URL: Retrieved from <https://periodicals.karazin.ua/ecology/article/view/3928>
3. Амирджанов А. Г. Солнечная радиация и продуктивность винограда. Ленинград: Гидрометеиздат, 1980. 208 с.
4. Никифорова Л. Т., Спектор Я. С., Подгорная С. В. и др. Справочник по виноградарству. Киев: Урожай, 1988. 206 с.
5. Жемеров О. О., Шуліка Б. О. Агрокліматичні умови вирощування винограду в районі селища Високий за 1994-2010 роки. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія: Геологія. Географія. Екологія*. 2010. Вип. 924. С. 101-110.
6. Шуліка Б. О. Фази розвитку винограду в контексті типів погоди селища Високий. Проблеми безперервної географічної освіти і картографії. 2013. Вип. 18. С. 176-181.
7. Ільчук М. М., Дмитрук М. І. Розвиток виробництва винограду в Україні. *Економіка АПК*. 2019. № 1. С. 18. URL: <https://periodicals.karazin.ua/pbgok/article/view/4193>
8. Кучеренко В. Виноградарство та виноробство сьогодні. Вектор руху та розвитку галузі. URL: <https://www.syngenta.ua/news/novini-kompaniyi/vinogradarstvo-ta-vinorobstvo-sogodni-vektor-ruhu-ta-rozvitku-galuzi>
9. Авидзба А. М. Програма розвитку виноградарства и виноделія в Україні в 2025 г. 2020. URL: <http://www.info-library.com.ua/libs/stattya/2773-programma-razvitija-vinogradarstva-i-vinodelija-v-ukraine-do-2025-g.html>
10. Полезные свойства косточек винограда для человека. 2020. URL: <http://progid.ru/poleznye-svoystva/nuts-and-seeds/kostochki-vinograda>.
11. Некос А. Н. Проблеми екологічної безпеки продуктів харчування рослинного походження. *Людина і довкілля. Проблеми неоекології*. 2009. № 1 (12). С. 56-62.
12. Некос А. Н., Холін Ю. В. Трофогеографія: теорія і практика: монографія. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2015. 296 с.
13. Дубініна А. А., Малюк Л. П., Селютіна Г. А. Токсичні речовини у харчових продуктах та методи їх визначення: підручник. Київ: ВД «Професіонал», 2007. 384 с.
14. Микитюк О. М., Бойчук О. Д., Іонов І. А. Екологічна безпека харчування людини: навчальний посібник. Харків: ХНПУ, 2007. 180 с.
15. ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. [Чинний від 2005–07–01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 10 с.
16. ДСТУ 7080:2009. Якість ґрунту. Проведення польових дослідів. Основні вимоги. [Чинний від 2010–07–01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2010. 9 с.
17. ДСТУ ISO 11464:2007. Якість ґрунту. Попереднє оброблення зразків для фізико-хімічного аналізу (ISO 11464:2006, IDT). [Чинний від 2008–01–01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2012. 18 с.
18. Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов в пищевых продуктах: СанПиН 42-123-4089-86. Москва: Изд.-во стандартов, 1986.



19. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041–06. Предельно допустимые концентрации химических веществ в почве [Чинний від 19.01. 2006 р.] Москва: Минздрав России, 2006. 68 с.
20. Перельман А. И., Касимов Н. С. Геохимия ландшафта. Москва: Московский гос. ун-тет, 1999. 610с.

### References

1. Dyman, T. M., Baranovsky, M. M. & Bilyavsky, G. M. (2006). *Ecotrophology. The basics of environmentally friendly baking*. T. M. Dyman (Ed.). Kyiv: Libra (in Ukrainian).
2. Nekos, A. N. & Malchuk, O. V. (2015). Features of concentration of heavy metals in grapes and products of its processing. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University Series "Ecology"*, (1147), 106-113. Retrieved from <https://periodicals.karazin.ua/ecology/article/view/3928> (in Ukrainian).
3. Amirdjanov, A. G. (1980). *Solar radiation and vineyard productivity*. Leningrad: Gidrometeoizdat (in Russian).
4. Nikiforova, L. T., Spektor, Ya. S. & Podgornaya, S. V. (1988). *Handbook of viticulture*. Kyiv: Urozhay (in Russian).
5. Zhemerov, O. O. & Shulika, B.O. (2010). Agroclimatic conditions of growing grapes in the area of the village Visokyi for 1994-2010 r. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology"*, (924), 101-110 (in Ukrainian).
6. Shulika, B. O. (2013). The phases of grapes' growth in the context of weather types in village Vysokyi. *Problems of Continuous Geographic Education and Cartography*, (18), 176-181. Retrieved from <https://periodicals.karazin.ua/pbgok/article/view/4193> (in Ukrainian).
7. Pichuk, M. M. & Dmytruk, M. I. (2019). Development of grape production in Ukraine. *APK economy*, (1), 18 (in Ukrainian).
8. Kucherenko V. (2020). Viticulture and winemaking today. Vector motion and industry development. Retrieved from <https://www.syngenta.ua/news/novini-kompaniyi/vinogradarstvo-ta-vinorobstvo-sogodni-vektor-ruhu-ta-rozvitku-galuzi> (in Ukrainian).
9. Avidzba A. M. (2020). Program for the Development of Viticulture and Viticulture in Ukraine in 2025. Retrieved from <http://www.info-library.com.ua/libs/stattya/2773-programma-razvitiya-vinogradarstva-i-vinodelija-v-ukraine-do-2025-g.html> (in Russian).
10. Useful properties of grape bones for the person. (2020). Retrieved from <http://prodgid.ru/poleznye-svoystva/nuts-and-seeds/kostochki-vinograda> (in Russian).
11. Nekos, A. N. (2009). Problems of ecological safety of food of plant origin. *Man and the environment. Issues of neoecology*, (12), 56-62 (in Ukrainian).
12. Nekos, A. N. & Kholin, Yu. V. (2015). *Trophogeography: theory and practice*. Kharkiv: V.N. Karazin KhNU (in Ukrainian).
13. Dubinina, A. A., Maliuk, L. P. & Seliutina, H. A. (2007). *Toxicity in grub products and the following methods*. Kyiv: VD "Profesional" (in Ukrainian).
14. Mykytyuk, O. M., Boychuk, Yu. D. & Ionov, I. A. (2007). *Ecological safety of human nutrition*. Kharkiv: KhNPU (in Ukrainian).
15. DSTU 4287:2004. (2005). Soil quality. Kyiv: State Consumer Standard of Ukraine (in Ukrainian).
16. DSTU 7080:2009. (2010). Soil quality. Conducting field experiments. Basic requirements. Kyiv: State Consumer Standard of Ukraine (in Ukrainian).
17. DSTU ISO 11464:2007. (2012). Soil quality. Pre-treatment of samples for physic-chemical analysis. Kyiv: State Consumer Standard of Ukraine (in Ukrainian).
18. Maximum permissible concentrations of heavy metals and arsenic in food raw materials and foodstuffs. (1986). Moscow: Minzdrav SSSR (in Russian).
19. Hygienic standards GN 2.1.7.2041-06. (2006). Maximum permissible concentrations of chemicals in the soil. Moscow: Ministry of Health of Russia (in Russian).
20. Perelman A. I. & Kasimov N. S. (1999). *Geochemistry of the landscape*. Moscow: Moscow State. Univ. (in Russian).

Надійшла до редколегії 02.04.2020

Прийнята 15.04.2020

УДК (UDC) 502.51(285)+620.179.15-046.55(488.82)

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-22-04>

**О. М. ГРОМИК**, канд. геогр. наук  
Луцький національний технічний університет  
вул. Львівська 75, м. Луцьк, 43000, Україна

E-mail: o.hromyk@lutsk-ntu.com.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1316-8390>

## РАДІОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВОДОЙМ ЗОНИ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ВОЛИНСЬКОЇ ОБЛАСТІ

**Мета.** Визначити вміст радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  та важких металів у водних об'єктах в межах населених пунктів Камінь-Каширського, Любешівського та Маневицького адміністративних районів Волинської області.

**Методи.** Під час експедиційних та лабораторних робіт використовували стандартні способи відбору, підготовки й вимірювання проб згідно з чинними методиками радіохімічного, радіоспектрометричного, іхтіологічного, гідрохімічного, статистичного аналізів тощо.

**Результати.** В основу досліджень покладено власні аналізи, а також фондові матеріали Науково-інформаційного центру водогосподарсько-екологічного моніторингу й оптимізації водокористування. Розглянуто особливості поширення радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  у водоймах (вода, донні відклади, риба, птахи) у межах зони радіоактивного забруднення Волинської області. Визначено максимальну концентрацію умісту  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  на дослідженій території. Означено антропогенний вплив та перевищення гранично допустимих концентрацій і гранично допустимих рівнів токсичних речовин у ланках екосистем визначених водних об'єктів частково забрудненого регіону.

**Висновки.** У результаті проведеного дослідження щодо рівня концентрацій  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  та важких металів у воді (у межах населених пунктів) дослідженої території виявлено, що найбільшій концентрації  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  зазнали водойми с. Прилісне, с. Велика Осниця, с. Череваха Маневицького, с. Нуйно Камінь-Каширського та с. Ветли Любешівського адміністративного району. Значний вміст солей важких металів зафіксовано у водоймах, а саме у с. Серхів – свинець, с. Прилісне Маневицького району – цинк, кадмій; у с. Березна Воля Любешівського району – мідь; у с. Нуйно Камінь-Каширського району – свинець.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** радіонукліди, зона радіоактивного забруднення, донні відклади, водойми, допустимий рівень, радіоактивне забруднення

**Hromyk O. M.**

*Lutsk National Technical University*

### RADIOLOGICAL ASSESSMENT OF RESERVOIRS IN VOLYN REGION THAT IS UNDER RADIOACTIVE CONTAMINATION

**Purpose.** To determine the content of radionuclides  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  and heavy metals in water bodies within the boundaries of settlements of Kamyn-Kashirsky, Lyubeshivsky and Manevychi administrative districts of Volyn region.

**Methods.** During the expedition and laboratory work, standard methods of sampling, preparation and measurement of samples were used according to the current methods of radiochemical, radiospectrometric, ichthyological, hydrochemical, statistical analyses, etc. The determination of the total content of heavy metals was performed in laboratory conditions by conventional methods.

**Results.** The research is based on its own analyses, as well as the stock materials of the Scientific Information Center for Water Management and Ecological Monitoring and Optimization of Water Use. Features of  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  radionuclides distribution in reservoirs (water, sediments, fish, birds) within the zone of radioactive contamination in Volyn Region are considered. The maximum concentration of  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  in the studied area were determined. The anthropogenic impact and excess of the maximum permissible concentrations and maximum permissible levels of toxic substances in the ecosystem links of certain water bodies of the partially contaminated region are identified.

**Conclusions.** As a result of the study on the level of concentrations of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  and heavy metals in water (within the boundaries of settlements) of the investigated area, it was found that reservoirs in village of

© Громик О. 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/).



Prylisne, village of Velyka Osnytsya, village of Cherevakha in Manevitsky District, village of Nuyno in Kamin-Kashirsky District and the village of Vetly in Lyubeshiv Administrative District are affected by the highest concentrations of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$ . The significant content of heavy metal salts is recorded in the reservoirs, namely in the village of Serhiv – lead, village of Prylisne in Manevitsky District – zinc, cadmium; in the village Berezna Volia in Lyubeshiv District – copper; in the village of Nuyno in Kamin-Kashirsky District – lead.

**KEYWORDS:** radionuclides, the zone of radioactive contamination, bottom sediments, water reservoirs, the permissible level, radioactive contamination

**Громик О. Н.**

*Луцкий национальный технический университет*

### **РАДИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОДОЕМОВ ЗОНЫ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЛЫНСКОЙ ОБЛАСТИ**

**Цель.** Определить содержание радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и тяжелых металлов в водных объектах в пределах населенных пунктов Камень-Каширского, Любешовского и Маневицкого административных районов Волынской области.

**Методы.** Во время экспедиционных и лабораторных работ использовали стандартные способы отбора, подготовки и измерения проб согласно действующим методикам радиохимического, радиоспектрометрического, ихтиологического, гидрохимического, статистического анализа. Определение общего содержания тяжелых металлов выполняли в лабораторных условиях по общепринятым методикам.

**Результаты.** В основу исследований положены собственные анализы, а также фондовые материалы Научно-информационного центра водохозяйственно-экологического мониторинга и оптимизации водопользования. Рассмотрены особенности распространения радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  в водоемах (вода, донные отложения, рыба, птицы) в пределах зоны радиоактивного загрязнения Волынской области. Определено максимальную концентрацию содержащего  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  на исследованной территории. Отмечено антропогенное воздействие и превышение предельно допустимых концентраций и предельно допустимых уровней токсичных веществ в звеньях экосистем определенных водных объектов частично загрязненного региона.

**Выводы.** В результате проведенного исследования по уровню концентраций  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  и тяжелых металлов в воде (в пределах населенных пунктов) исследованной территории выявлено, что наибольшей концентрации  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  подверглись водоемы с. Прилесное, с. Великая Осница, с. Череваха Маневицкого, с. Нуино Камень-Каширского и с. Ветлы Любешовского административного района. Значительное содержание солей тяжелых металлов зафиксировано в водоемах, а именно в с. Серхов – свинец, с. Прилесное Маневицкого района – цинк, кадмий; в с. Березная Воля Любешовского района – медь; в с. Нуино Камень-Каширского района – свинец.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** радионуклиды, зона радиоактивного загрязнения, донные отложения, водоемы, допустимый уровень, радиоактивное загрязнение

### **Вступ**

Внаслідок аварії, що трапилась у 1986 році на Чорнобильській АЕС виникла потреба в оцінці навантаження радіоактивно забрудненої території. Західний слід радіоактивного забруднення охопив північну частину Волинської області, а саме Камінь-Каширський, Любешівський і Маневицький адміністративні райони.

Значна кількість праць присвячена вивченню та оцінці вмісту радіонуклідів у водоймах. На особливу увагу заслуговують праці В. М. Самойленка, який дослідив поведінку радіонуклідів у водному середовищі, запропонував комплексне районування забруднених територій, провів моніторинг радіаційного та хімічного забруднених водойм, озер і річок. Під його керівництвом Науково-інформаційним центром водогосподарсько-екологічного моніторингу й оптимізації водо-

користування (далі – екологічний центр «НІЦ ВЕМОВ»), проведено дослідження концентрації радіонуклідів у водоймах [1, 12–13]. М. М. Паламарчук дослідив потенціал водних ресурсів України [13]. Л. В. Ільїн, Я. О. Мольчак, вивчили водойми Волинської області та здійснили еколого-гідрохімічний аналіз радіоактивно забрудненої території [5, 8–11]. Однак важливі просторово-часові аспекти поширення та акумуляції радіонуклідів у водоймах, особливо поблизу населених пунктів, потребують детального вивчення.

Метою дослідження є визначити вміст радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  та важких металів у водних об'єктах в межах населених пунктів Камінь-Каширського, Любешівського та Маневицького адміністративних районів Волинської області.

### Методика дослідження

Методика досліджень із комплексного радіологічного моніторингу водойм місцевого водокористування та узагальнення їхніх результатів передбачала застосування методів теорії систем (геосистем) й інформації. Під час експедиційних та лабораторних робіт використовували стандартні [1, 12] способи відбору, підготовки й вимірювання проб згідно з чинними методиками радіохімічного, радіоспектрометричного, іхтіологічного, гідрохімічного, статистичного аналізів тощо. Під час обстеження місцевого водного фонду Волинської області остаточний вибір об'єктів здійснено, виходячи з наявності водойм, радіоекологічної вивченості території, морфометричних характеристик і значущості водойм для населення щодо користування їхніми ресурсами. Це водойми, серед яких домі-

нують ставки та копанки й трапляються малі та середні водосховища й озера [12].

Вимірювання проб на вміст  $^{137}\text{Cs}$ , переважно виконували гамма-спектрометром із тривалістю, що дає змогу надійно визначити вміст радіонукліду за концентрацій порядку 0,37 Бк/л (1 пКі/л). Після цього пробу води аналізували на вміст  $^{90}\text{Sr}$ . Мінімум детектована активність радіометра та час експозиції мали забезпечувати надійне визначення радіонукліда у воді з чутливістю, не нижчою за 1 пКі/л. Аналогічно проводили вимірювання вмісту радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  у пробах, відфільтрованих із води зависей [1]. Визначення загального вмісту важких металів виконували в лабораторних умовах за загальноприйнятими методиками.

### Результати та обговорення дослідження

У результаті аналізу забруднень водойм у населених пунктах радіонуклідами  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  та важкими металами (свинець, цинк, мідь, кадмій), у 1997 році, виявлено, що забруднення води  $^{137}\text{Cs}$  – <0,037 Бк/л складає 99 % від усіх досліджених озер населених пунктів. Найбільша забрудненість води 0,90 Бк/л зафіксована у озері поблизу с. Прилісне Маневицького району. У донних відкладах максимальний вміст  $^{137}\text{Cs}$  зосередився у водоймах сіл Прилісне (32,57 Бк/л) та Велика Осниця (84,57 Бк/л), мінімальний – у водоймах с. Комарове (1,173 Бк/л) Маневицького та с. Черче (2,43 Бк/л) Камінь-Каширського адміністративних районів. Найбільша щільність забруднення радіоізотопами  $^{137}\text{Cs}$  у риби виявлена у водоймах с. Нуйно (69,64 Бк/кг) Камінь-Каширського району, с. Прилісне (45,33 Бк/кг) Маневицького району, найменша у с. Черче (3,7 Бк/кг) Камінь-Каширського району, с. Комарове (4,13 Бк/кг) Маневицького району. Значне накопичення  $^{137}\text{Cs}$  у птахах зосереджене у водоймах поблизу с. Ветли (42,53 Бк/кг) Любешівського району, незначна кількість у с. Комарове (3,13 Бк/кг) Маневицького району (табл. 1, рис. 1) [1, 3, 10, 11, 15].

Радіоактивне забруднення води у озерях  $^{90}\text{Sr}$  у 50 % від усіх досліджених водойм становить <0,037 Бк/л, найбільша забрудненість зафіксована у с. Прилісне (0,20 Бк/л) Маневицького району. У донних відкладах середнє значення забруднення  $^{90}\text{Sr}$  становить 2,70 Бк/кг [11].

Максимальний вміст накопичення радіоізоотопу  $^{90}\text{Sr}$  у риби зафіксований у водоймах с. Нуйно (11,94 Бк/кг) Камінь-Каширського району та с. Комарове (11,07 Бк/кг) Маневицького району, мінімальний вміст  $^{90}\text{Sr}$  у риби виявлений у водоймі с. Березна Воля 1,27 Бк/кг Любешівського району.

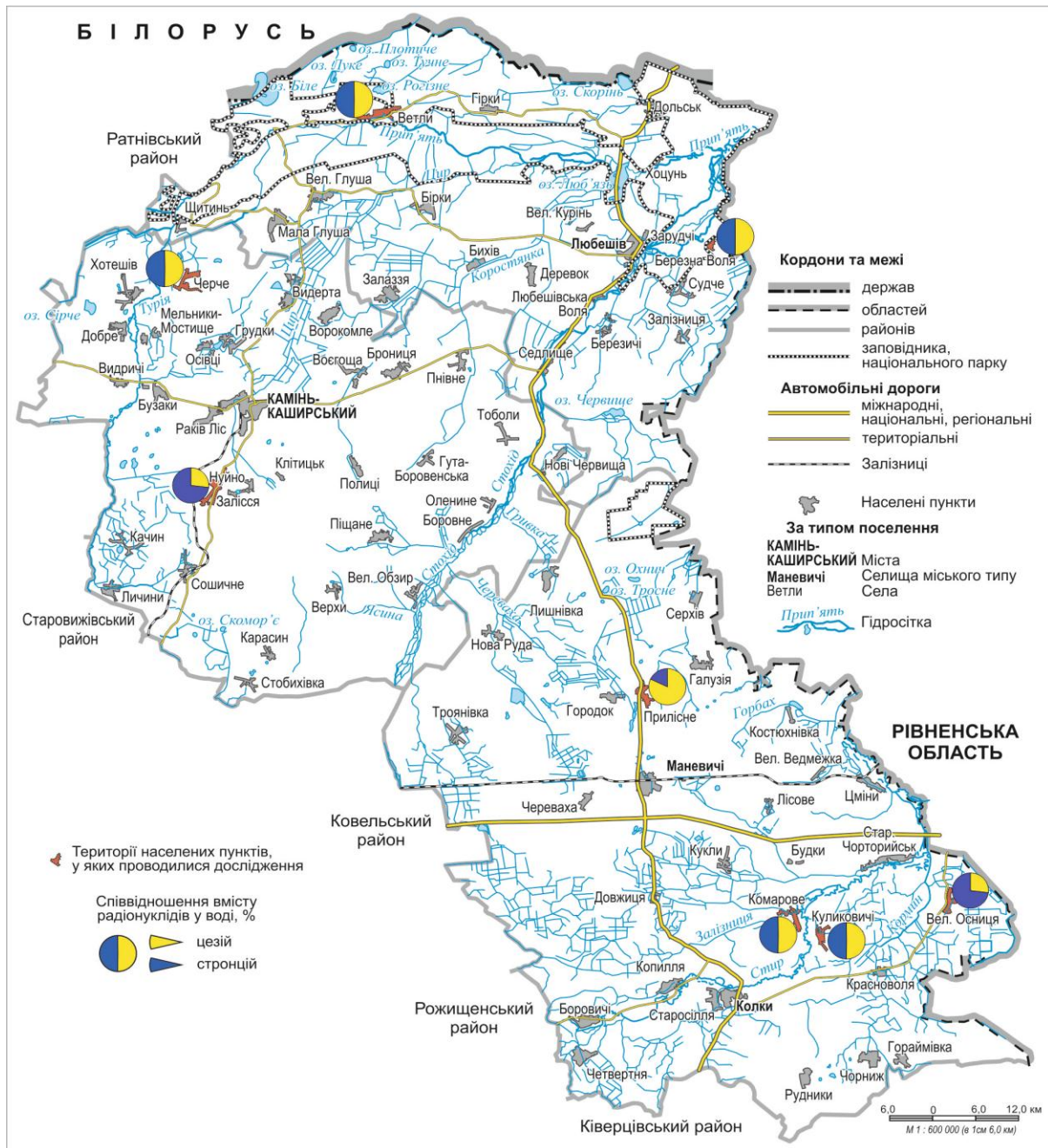
У птахах значна кількість  $^{90}\text{Sr}$  (9,73 Бк/кг) зосередилась поблизу водойми с. Березна Воля Любешівського району. Незначна кількість радіоізоотопу у птахах (2,43 Бк/кг) відзначена у с. Черче Камінь-Каширського району (див. табл. 1).

Найвища концентрація солей важких металів свинцю (0,559 мг/кг) у риби, кадмію (0,042 мг/кг) у птахах зафіксована у водоймі с. Нуйно Камінь-Каширського району. Встановлено, що у птахах поблизу водойми с. Березна Воля Любешівського району зосереджена максимальна кількість свинцю (0,297 мг/кг) та міді (4,31 мг/кг). Значну кількість цинку виявлено в риби (37,59 мг/кг) водойми с. Велика Осниця та птахах (48,31 мг/кг) с. Прилісне Маневицькому району [2]. Вміст солей важких металів у риби, птиці досліджуваних водойм не перевищує встановлених нормативів [6–7]. У донних відкладах перевищення гранично допустимих концентрацій (далі – ГДК) кадмію (0,675 мг/кг) у 1,3 раза зафіксовано у с. Нуйно Камінь-Каширського району та в 1,2 раза свинцю (0,0362 мг/л) у воді с. Черче Камінь-Каширського адміністративного району (рис. 2) [2].

Таблиця 1

Радіоекологічне обстеження водойм  
(узагальнено за фондовими матеріалами екологічного центру «НЦ ВЕМОВ»)

№ з/п	Населений пункт, ланка екосистеми	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	Вміст солей важких металів (мг/л, мг/кг)			
				Свинець Pb	Цинк Zn	Мідь Cu	Кадмій Cd
Камінь-Каширський район							
Озеро Добре с. Нуйно							
1	Вода (Бк/л)	<0,037	0,100	0,00156	0,0195	0,0069	0,000214
	Донні відклади (Бк/кг)	14,02	2,71	0,452	3,360	1,36	0,675
	Риба (Бк/кг)	69,64	11,94	0,559	18,151	1,16	0,015
	Птахи (Бк/кг)	18,24	7,24	0,243	19,313	2,08	0,042
Ставок с. Черче							
2	Вода (Бк/л)	<0,037	<0,037	0,0362	0,126	0,0035	0,000135
	Донні відклади (Бк/кг)	2,43	0,67	0,398	2,27	1,37	0,0548
	Риба (Бк/кг)	3,7	1,6	0,25	15,23	1,26	0,0133
	Птахи (Бк/кг)	4,87	2,43	0,127	15,41	1,73	0,0148
Любешівський район							
Озеро Бережновільське с. Березна Воля							
3	Вода (Бк/л)	<0,037	<0,037	0,00779	0,0621	0,0122	0,000242
	Донні відклади (Бк/кг)	41,2	1,08	0,721	2,07	1,80	0,1058
	Риба (Бк/кг)	4,23	1,27	0,272	22,42	1,46	0,029
	Птахи (Бк/кг)	15,00	9,37	0,297	27,41	4,31	0,0307
Озеро Луке с. Вегли							
4	Вода (Бк/л)	<0,037	<0,037	0,00466	0,0629	0,0081	0,00021
	Донні відклади (Бк/кг)	21,52	2,56	0,328	3,46	1,06	0,058
	Риба (Бк/кг)	31,43	8,00	0,111	29,338	1,33	0,017
	Птахи (Бк/кг)	42,53	8,7	0,224	20,130	2,24	0,013
Маневицький район							
Водойма с. Велика Осниця							
5	Вода (Бк/л)	<0,037	0,100	0,00256	0,0771	0,0093	0,00016
	Донні відклади (Бк/кг)	84,57	3,78	0,662	4,867	1,133	0,0383
	Риба (Бк/кг)	32,17	9,6	0,187	37,597	3,253	0,0060
	Птахи (Бк/кг)	10,93	6,23	0,173	26,40	2,82	0,0388
Ставок с. Комарове							
6	Вода (Бк/л)	<0,037	<0,037	0,00219	0,137	0,0036	0,00027
	Донні відклади (Бк/кг)	1,173	3,21	1,309	1,500	1,733	0,054
	Риба (Бк/кг)	4,13	11,07	0,3190	16,279	1,240	0,0088
	Птахи (Бк/кг)	3,13	2,67	0,153	31,94	1,78	0,0250
Ставок с. Куликовичі							
7	Вода (Бк/л)	<0,037	<0,037	0,00450	0,0475	0,119	0,000139
	Донні відклади (Бк/кг)	30,47	4,93	1,373	3,43	2,80	0,0956
	Риба (Бк/кг)	6,37	4,13	0,365	31,38	2,42	0,0237
	Птахи (Бк/кг)	10,9	3,1	0,249	22,35	3,41	0,0195
Озеро Глибоке с. Прилісне							
8	Вода (Бк/л)	0,90	0,20	0,00283	0,0384	0,0129	0,000329
	Донні відклади (Бк/кг)	32,57	2,63	0,459	3,83	2,67	0,0563
	Риба (Бк/кг)	45,33	3,13	0,130	12,45	1,90	0,157
	Птахи (Бк/кг)	9,37	5,43	0,089	48,31	3,75	0,0142



**Рис. 1** – Вміст радіонуклідів у воді (в межах населених пунктів зони радіоактивного забруднення Волинської області) [3]

Уміст  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  у воді досліджених озер не перевищує допустимих рівнів вмісту радіонуклідів (2 Бк/л), відповідно до Державних гігієнічних нормативів «Допустимі рівні вмісту радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  у продуктах харчування та питній воді» (наказ МОЗ України 03.05.2006 №256).

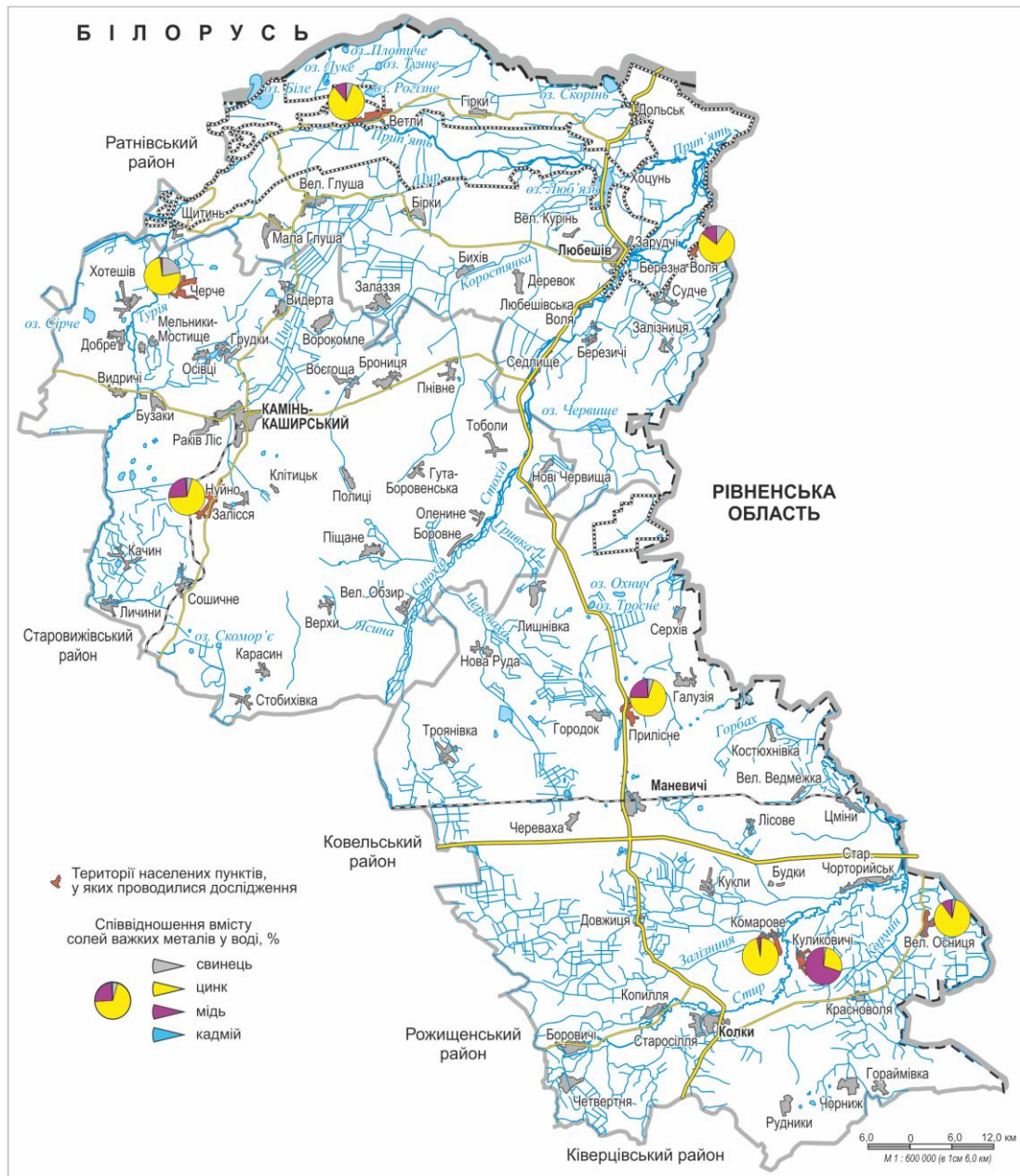
Аналіз забруднення водних об'єктів  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  у 1998 році, свідчить про те, що вміст  $^{137}\text{Cs}$  у воді коливається в межах від 0 (с. Воєгоща Камінь-Каширського району) до 1,14 Бк/л (с. Прилісне Маневичького району). Максимальний вміст  $^{90}\text{Sr}$  становить 0,23

Бк/л у воді с. Прилісне Маневичького району (табл. 2, рис. 3) [2].

Як видно з табл. 2, вміст  $^{137}\text{Cs}$  у донних відкладах досліджуваних озер коливається від 2,7 Бк/кг (с. Воєгоща Камінь-Каширського району) до 91,7 Бк/кг (с. Галузія Маневичького району). Максимальна кількість вмісту  $^{90}\text{Sr}$  зосереджена у донних відкладах в озері с. Полиці Камінь-Каширського району – 10,96 Бк/кг.

Допустимий вміст радіонукліда  $^{137}\text{Cs}$  у рибі – 150 Бк/кг досліджуваної водойми с. Черевахи Маневичького району (становить





**Рис. 2** – Вміст солей важких металів у воді (в межах населених пунктів зони радіоактивного забруднення Волинської області)

267,47 Бк/кг) перевищений у 1,8 раза. Максимальний вміст накопичення радіоізоотопу у птахів зафіксований у водоймі неподалік с. Полиці Камінь-Каширського району – 11,83 Бк/кг.

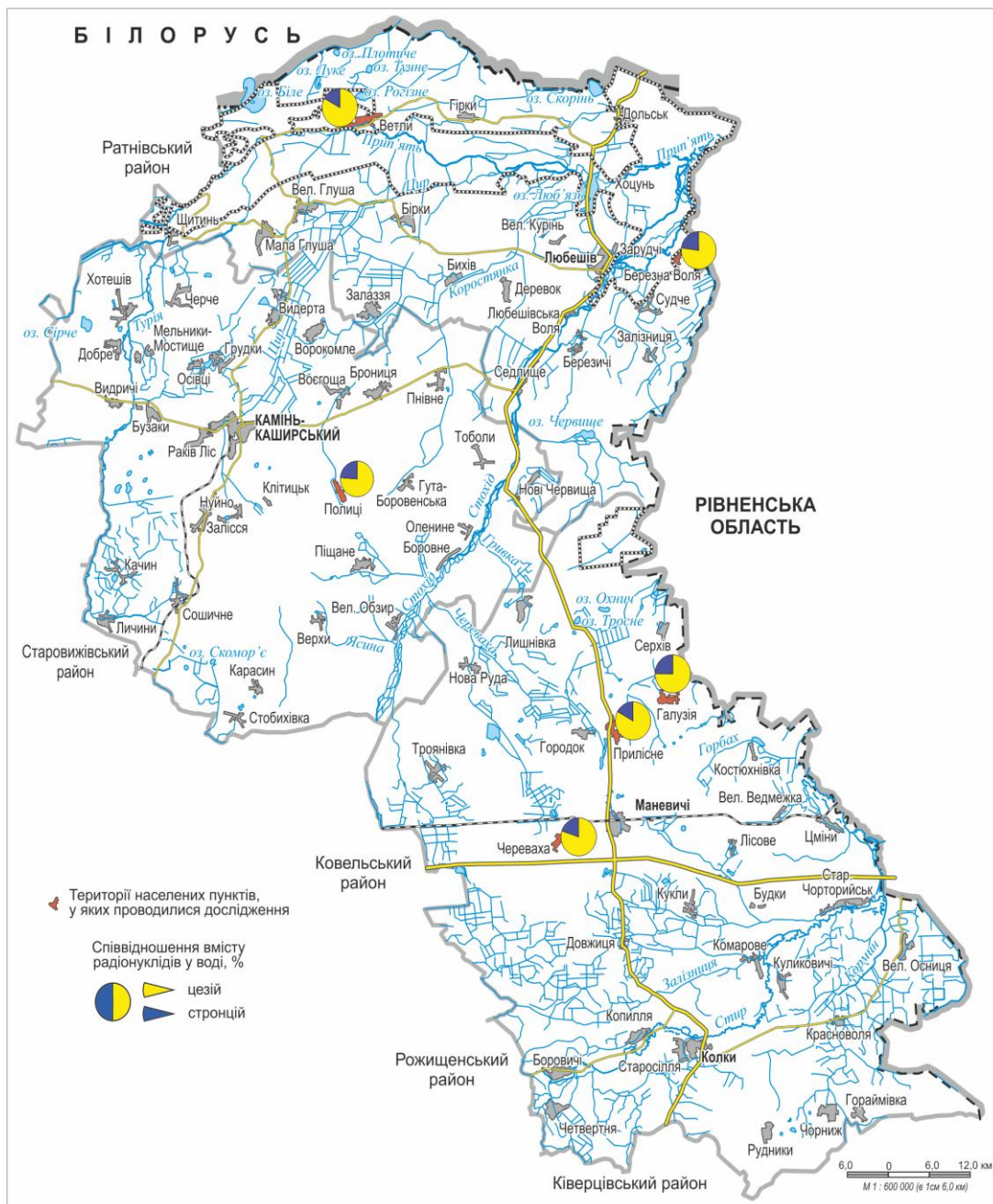
Перевищення значення допустимого рівня питомої активності радіонукліда  $^{90}\text{Sr}$  – 35 Бк/кг, у 1,1 раза зафіксовано у рибі водойми с. Черваха Маневицького району (39,77 Бк/кг). Значне накопичення  $^{90}\text{Sr}$  у птахів зосереджене у водоймах поблизу с. Березна Воля Любешівського району – 4,13 Бк/кг.

Перевищення встановлених нормативів у воді Pb, Zn, Cu, Cd у досліджених водоймах Камінь-Каширського, Любешівського та Маневицького адміністративних районів не виявлено (рис. 4) [2]. Результати аналізу вмісту солей важких металів у донних відкладах, рибі та птиці показали перевищення ГДК (див. табл. 2). Кадмію у донних відкладах (0,60 мг/кг) у 1,2 раза зафіксовано у с. Серхів Маневицького адміністративного району, цинку у рибі (41,02 мг/кг) та кадмію у птахів (0,32 мг/кг)

Таблиця 2

Радіоекологічне обстеження водойм (узагальнено за фондovими матеріалами екологічного центру «НІЦ ВЕМОВ»)

№ з/п	Населений пункт, ланка екосистеми	$^{137}\text{Cs}$ (Бк/л)	$^{90}\text{Sr}$ (Бк/л)	Уміст солей важких металів (мг/л, мг/кг)			
				Свинець Pb	Цинк Zn	Мідь Cu	Кадмій Cd
Любешівський район							
Озеро Луке с. Ветли							
1	Вода (Бк/л)	0,8	0,16	0,008	0,0301	0,0132	0,00017
	Донні відклади (Бк/кг)	4,24	0,84	2,99	32,64	2,66	0,29
	Риба (Бк/кг)	15,3	2,33	0,127	39,49	1,35	0,118
	Птахи (Бк/кг)	5,3	1,83	0,428	9,74	1,12	0,084
Озеро Бережновільське с. Березна Воля							
2	Вода (Бк/л)	0,33	0,1	0,01145	0,03502	0,0162	0,000419
	Донні відклади (Бк/кг)	5,4	0,93	1,13	32,82	2,5	0,27
	Риба (Бк/кг)	3,7	0,6	0,089	41,02	1,44	0,092
	Птахи (Бк/кг)	11,53	4,13	0,130	16,..13	2,34	0,040
Камінь-Каширський район							
Водойма с. Возгоща							
3	Вода (Бк/л)	–	–	0,00818	0,04492	0,0363	0,00013
	Донні відклади (Бк/кг)	2,7	0,3	0,68	4,15	3,34	0,17
	Риба (Бк/кг)	0,83	0,23	0,223	21,83	2,29	0,073
	Птахи (Бк/кг)	4,76	2,23	0,072	13,83	3,25	0,32
Водойма «Велика вапнярня» с. Полиці							
4	Вода (Бк/л)	0,32	0,1	0,00658	0,02628	0,00978	0,000143
	Донні відклади (Бк/кг)	34,00	10,96	2,4	18,36	3,01	0,15
	Риба (Бк/кг)	66,53	12,33	0,095	30,98	1,15	0,090
	Птахи (Бк/кг)	11,83	2,8	0,26	23,08	1,19	0,021
Маневицький район							
Озеро Глибоке с. Прилісне							
5	Вода (Бк/л)	1,14	0,23	0,00976	0,0357	0,00894	0,000242
	Донні відклади (Бк/кг)	48,7	4,1	0,89	2,78	1,1	0,10
	Риба (Бк/кг)	61,66	3,33	0,064	11,57	0,81	0,019
	Птахи (Бк/кг)	6,4	1,77	0,188	28,17	1,20	0,036
Ставок «Паничівка» с. Галузія							
6	Вода (Бк/л)	0,3	0,1	0,00942	0,04224	0,00798	0,000233
	Донні відклади (Бк/кг)	91,7	6,6	2,388	6,13	2,8	0,15
	Риба (Бк/кг)	51,27	7,3	0,088	10,78	0,81	0,025
	Птахи (Бк/кг)	8,4	1,47	0,263	17,79	0,88	0,046
Озеро Засвіття с. Серхів							
7	Вода (Бк/л)	0,23	–	0,00942	0,0318	0,1316	0,000190
	Донні відклади (Бк/кг)	12,1	1,5	2,16	4,8	2,62	0,60
	Риба (Бк/кг)	8,67	1,27	0,13	25,43	0,98	0,126
	Птахи (Бк/кг)	4,4	1,3	0,672	25,44	1,51	0,020
Водойма с. Череваха				Озеро Лісове с. Лісове			
	Вода (Бк/л)	0,4	0,1	0,00380	0,1819	0,0710	0,000535
	Донні відклади (Бк/кг)	75,2	1,9	1,69	20,27	2,95	0,19
	Риба (Бк/кг)	267,47	39,77	0,08	31,82	1,53	0,049
	Птахи (Бк/кг)	8,27	2,43	0,224	31,40	2,29	0,026



**Рис. 3** – Вміст радіонуклідів у воді (в межах населених пунктів зони радіоактивного забруднення Волинської області)

виявлено у водоймі с. Березна Воля Любешівського району та с. Воєгоща Камінь-Каширського району, зокрема цинку в 1,03 раз а кадмію в 6,4 раза. Перевищення вста-

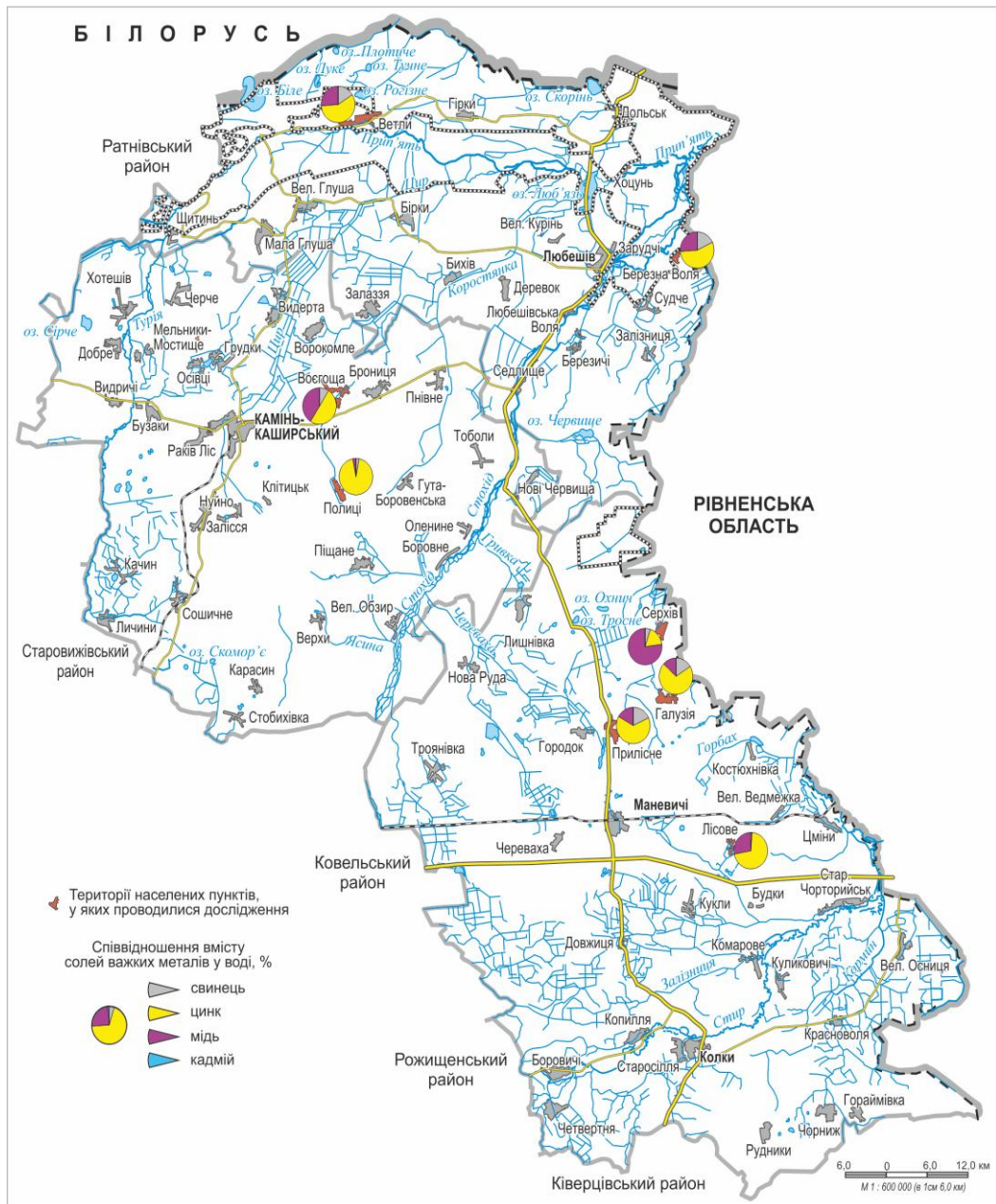
новлених рівнів за вмістом солей свинцю (0,672 мг/кг) у 1,3 раза відзначене у птахах поблизу водойми с. Серхів Маневицького адміністративного району [4].

### Висновки

У результаті проведеного радіологічного дослідження рівня концентрацій  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  та важких металів у воді (у межах населених пунктів) означеної території виявлено, що

найбільшої вмісту  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  зазнали водойми с. Прилісне, с. Велика Осниця, с. Череваха Маневицького, с. Нуйно Камінь-Каширського та с. Ветли Любешівського адміністра-





**Рис. 4** – Вміст солей важких металів у воді (в межах населених пунктів зони радіоактивного забруднення Волинської області)

важких металів зафіксовано у водоймах, а саме у с. Серхів – свинець (птахи – 0,672 мг/кг), с. Прилісне Маневицького району – цинк (птахи – 48,31 мг/кг), кадмій (риба – 0,157 мг/кг); у с. Березна Воля Любешівського району – мідь (птахи – 4,31 мг/кг); у с. Нуйно Камінь-Каширського району – свинець (риба – 0,559 мг/кг).

Зафіксовано таке перевищення гранично допустимих концентрацій у донних відкладах: кадмію – в 1,3 раза в с. Нуйно та свинцю в 1,2 – у воді с. Черче Камінь-Каширського адміністративного району.

Виконані дослідження дають підставу стверджувати, що значне збільшення встановлених нормативів, небезпечних для людини,  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  простежено в рибі водойми с. Черехахи Маневицького району:  $^{137}\text{Cs}$  – в 1,8 раза,  $^{90}\text{Sr}$  – в 1,1. Виявлено перевищення гранично допустимих концентрацій солей важких металів: кадмію в донних відкладах – в 1,2 раза, а саме у водоймі поблизу с. Серхів Маневицького району; цинку – у рибі у водоймі с. Ветли та кадмію – у птахах поблизу озера у с. Березна Воля Любешівського району. Зокрема, цинку ви-

явлено – в 1,03 раза, а кадмію в 1,7. Збільшення встановлених рівнів за вмістом солей свинцю в 1,3 раза відзначено в птахах поблизу штучної водойми с. Серхів Маневицького району. Перспективи подальших досліджень полягають у розробленні заходів із

ліквідації наслідків радіоактивного забруднення. Оцінювання території за ландшафтно-геохімічними умовами міграції радіонуклідів, їх нагромадження та вивчення закономірностей міграції.

### Конфлікт інтересів

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

### Література

1. Самойленко В. М., Тавров Ю. С., Буянов М. І., Максимчук В. Л. Відбір, підготовка до аналізу, визначення вмісту радіонуклідів, мікроелементів та токсичних речовин у водних об'єктах, обробка та аналіз результатів : звіт про НДР за договором 50/96 (пром.жн.). Екоцентр «НІЦ ВЕМОВ», МНС України. № держреєстр. 0196U12455. Київ, 1998. 147 с.
2. Громик О. М. Важкі метали у лімносистемах Західного Полісся (на прикладі зони радіоактивного забруднення Волинської області). *Географія та туризм*. 2011. Вип. 15. С. 268–277.
3. Громик О. М. Еколого-географічне обґрунтування оптимізації агроландшафтів у зоні радіоактивного забруднення : автореф. дис. ... канд. географ. наук : 11.00.11; Харків. Нац. Ун-т ім. В. Н. Каразіна. Харків, 2018. 20 с.
4. Громик О. М., Ільїн Л. В. Просторова диференціація радіонуклідів та важких металів Волинської області. *Молодь: освіта, наука, духовність* : тези доп. XIII Всеукр. наук. конф. студентів і молодих вчених (м. Київ, 12–14 квіт. 2016 р.) : у 2 ч. Київ : Ун-т «Україна», 2016. Ч. 2. С. 389–391.
5. Громик О. М., Ільїна О. В. Радіонукліди та важкі метали в ґрунтах і водах території радіоактивного забруднення Волинської області. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. Географічні науки*. 2016. № 15. С. 30–38.
6. Допустимі рівні вмісту радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  у продуктах харчування та питній воді (ДР–97). Державні гігієнічні нормативи. Київ : Чорнобильінтерінформ, 1997. 10 с.
7. ДСТУ ГОСТ 27384-2005. Вода. Нормы погрешностей измерений показателей состава и свойств. [Чинний від 2004-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2004. 5 с.
8. Ільїн Л. В. Лімнокомплекси Українського Полісся : монографія : у 2-х т. Т. 1 : Природничо-географічні основи дослідження та регіональні закономірності. Луцьк : РВВ «Вежа» Волин. нац. ун-ту ім. Лесі Українки, 2008. 316 с.
9. Ільїн Л. В., Мольчак Я. О. Озера Волині: лімно-географічна характеристика. Луцьк : Надстир'я, 2000. 140 с.
10. Ільїн Л. В., Громик О. М. Радіаційне дослідження озерних комплексів Волинської області. *Сучасні екологічні проблеми Українського Полісся та суміжних територій (до 30-ї річниці аварії на ЧАЕС)* : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (Ніжин, 20–22 квіт. 2016 р.). Ніжин : 2016. С. 180–182.
11. Ільїн Л. В., Громик О. М. Уміст радіонуклідів у лімносистемах Західного Полісся (на прикладі водойм зони радіоактивного забруднення Волинської області). *Науковий вісник Волинського національного університету імені Лесі Українки. Географічні науки*. 2012. № 18. С. 4–10.
12. Самойленко В. М. Кадастр радіоактивного забруднення водних об'єктів України місцевого водокористування. Т. 1. Радіогідроекологічний стан і використання водойм та загальнометодологічні проблеми. Київ : Ніка-Центр, 1998. 192 с.
13. Створення бази даних гідрологічних характеристик річок та водойм України: звіт про НДР за договором № 12/3.14нс–97 (заклучн.) В. М. Самойленко, Ю. С. Тавров, М. М. Паламарчук та ін. // Екоцентр «НІЦ ВЕМОВ», МНС України. – № держреєстр. 0197U019389. Київ, 1998. 58 с.
14. СанПиН №4630–88. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения. Москва : Минздрав СССР, 1988. 69 с.
15. Hromyk O., Ilyina O. Radionuclides and heavy metals in soils and waters on the territory of radioactive contamination in Volyn region. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*. 2017. Vol. 14, No 132. P. 17–19.

### References

1. Samoilenko, V. M., Tavrov, Yu. S., Buyanov, M. I. & Maksymchuk, V. L. (1998). Selection, preparation for analysis, determination of content of radionuclides, trace elements and toxic substances in water bodies,

- processing and analysis of results: report on research on contract 50/96 (interim). *Ecocenter "NIC VEMOV", Ministry of Emergencies of Ukraine*. - State registry number. 0196U12455 (in Ukrainian).
2. Hromyk, O. M. (2011). Heavy metals in limestone systems of West Polissya (on the example of the zone of radioactive contamination of Volyn region). *Geography and Tourism: Collection of research papers*, (15), 268–277 (in Ukrainian).
  3. Hromyk, O. M. (2018). *Ecological and geographical justification of optimization of agricultural landscapes in the area of radioactive contamination: (Master's thesis)*. Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University (in Ukrainian).
  4. Hromyk, O. M. & Ilyin, L. V. (2016). Spatial differentiation of radionuclides and heavy metals of the Volyn region. *Proceedings of the 13th All-Ukrainian Scientific Conference of students and young scientists: Youth: education, science, spirituality*, 2, 389–391 (in Ukrainian).
  5. Hromyk, O. M. & Ilyina, O. V. (2016). Radionuclides and heavy metals in soils and waters of the territory of radioactive contamination of Volyn region. *Scientific Bulletin of Lesya Ukrainka Eastern European National University. Geographical Sciences*, (15), 30–38 (in Ukrainian).
  6. Permissible levels of  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  radionuclides in food and drinking water (DR-97). State sanitary standards. (1997). Kyiv: Chornobylinterinform (in Ukrainian).
  7. Water. Measurement accuracy standards for indicators of structure and properties. (2004). *DSTU ISO 27384-2005 from January 01, 2004*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukraine (in Ukrainian).
  8. Ilyin, L.V (2008). Limnologic complexes of Ukrainian Polissya. *Natural-geographical bases of research and regional patterns, 1*. Lutsk: RVV "Vezha" (in Ukrainian).
  9. Ilyin, L.V. & Molchak Y. A. (2000). *Volyn Lakes: Limno-geographical characteristics*. Lutsk: Nadstyria (in Ukrainian).
  10. Ilyin, L. V. & Hromyk, O. M. (2016). Radiation study of lake complexes in Volyn region. *Proceedings of International Scientific and Practical Conference: Modern ecological problems of the Ukrainian Polissya and adjacent territories (before the 30th anniversary of the Chernobyl accident)*, Nizhyn, 180–182 (in Ukrainian).
  11. Ilyin, L. V. & Hromyk, O. M. (2012). Content of radionuclides in limestone systems of Western Polissya (on the example of reservoirs in the zone of radioactive contamination of Volyn region). *Scientific Bulletin of Lesya Ukrainka Eastern European National University. Geographical Sciences*, (18), 4–10 (in Ukrainian).
  12. Samoilenko, V. M. (1998). Inventory of Radioactive Contamination of Water Resources of Ukraine for Local Water Use. *Radio-hydroecological status and use of reservoirs and general methodological problems, 1*. Kyiv: Nika-Center (in Ukrainian).
  13. Samoilenko, V. M., Tavrov, Yu. S., Palamarchuk, M. M. & others. (1998). Creation of a database of hydrological characteristics of rivers and reservoirs of Ukraine: a report under contract № 12 / 3.14ns-97 (final). Ecocenter "NIC VEMOV", Ministry of Emergencies of Ukraine. - State registry number. 0197U019389 (in Ukrainian).
  14. Sanitary rules and standards for protection of surface water from pollution. (1988). SanPiN No. 4630–88. Moscow: Ministry of Health of the USSR (in Russian).
  15. Hromyk, O. & Ilyina, O. (2017). Radionuclides and heavy metals in soils and waters on the territory of radioactive contamination in Volyn region. *Science and Education: a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, 14 (132), 17–19.

Надійшла до редколегії 1.11.2019

Прийнята 15.02.2020

УДК (UDC) 574:+502.7

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-22-05>

**О. М. ГЕТМАНЕЦЬ<sup>1</sup>**, канд. фіз.-мат. наук, доц., **Н. М. ПЕЛІХАТИЙ<sup>1</sup>**, д-р фіз.-мат. наук, проф.,  
**Б. Г. ПЕРЕВЕРЗЄВ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна  
майдан Свободи, 6, Харків, Україна 61022

e-mail: [getmanets54@gmail.com](mailto:getmanets54@gmail.com)  
[mikolay@gmail.com](mailto:mikolay@gmail.com)  
[b.perewerzew@gmail.com](mailto:b.perewerzew@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0543-0961>  
<https://orcid.org/0000-0001-6879-6664>  
<https://orcid.org/0000-0002-6496-8956>

## ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ НА ТЕРИТОРІЇ ІСТОРИЧНОГО ЦЕНТРУ м. ХАРКОВА

Дослідження радіаційного фону на території історичного центру м. Харкова, де зосереджені культурні та релігійні пам'ятники, міські адміністративні установи, заклади освіти, банківські установи, чисельні об'єкти громадського харчування та крамниці, завжди є актуальним.

**Мета.** Дослідити стан радіаційного фону на території історичного центру м. Харкова та побудувати відповідні карти радіаційного забруднення.

**Методи.** Вимірювання за допомогою дозиметра МКС-05 «ТЕРРА»; методи регресійної картографії.

**Результати.** Вимірювання потужності дози неперервного рентгенівського та гамма-випромінювання проведені на території центру м. Харкова, що обмежена річками Лопань та Харків до їх злиття, на протязі жовтня 2019 р. Розроблена проста модель побудови поля радіаційного фону на місцевості за даними результатів вимірювань потужності дози неперервного рентгенівського та гамма-випромінювання у кінцевому числі фіксованих точок спостережень з застосуванням рівняння кусково-неперервної лінійної регресії вздовж ламаної лінії, яка послідовно з'єднує усі контрольні точки від центральної до найдалшої периферійної проти годинникової стрілки або навпаки від останньої зовнішньої до центральної за годинниковою стрілкою. Карту радіаційного забруднення будували за середніми значеннями потужності дози випромінювання, які були обчислені за допомогою обох рівнянь регресії. Похибкою моделі вважали половину абсолютної різниці цих значень. Визначено, що максимальна потужність дози спостерігалася поблизу 23-ї контрольної точки – початку Харківського мосту. Мінімальна потужність дози – біля 16-ї та 17-ї точок – «стрілки» двох річок – Лопані і Харкова та поблизу 24-ї точки – в сквері на Харківський набережній.

**Висновки.** Стан радіаційного фону на території історичного центру м. Харкова на протязі жовтня 2019 року в межах норми. Модель дозволила надійно побудувати карти радіаційних забруднень на всій контрольованій території на підставі результатів локальних вимірювань в певній кількості контрольних точок та визначити абсолютну помилку прогнозу, яка перебувала в межах ціни відліку приладу. Модель може знайти застосування для моніторингу інших видів забруднень.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** радіаційний моніторинг, рентгенівське випромінювання, гамма випромінювання, регресійна картографія

**Getmanets O. M., Pelikhaty N. M., Pereverzev B. G.**

*V. N. Karazin Kharkiv National University*

### THE RADIATION BACKGROUND RESEARCH ON THE KHARKIV HISTORICAL CENTER TERRITORY

The radiation background were performed in the historical center of Kharkiv with its cultural and religious historical objects, city administration, educational institutions, banking establishments, numerous cafes and restaurants, as well as shops is always important.

**Purpose.** To perform the study of the state of radiation background in the historical center of Kharkiv and the radiation pollution maps construction.

© Гетманець О. М., Пеліхатий М. М., Переверзєв Б. Г., 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.** Using the dosimeter MKC-05 "TEPPA", regression mapping methods

**Results.** Continuous X-ray and gamma-ray dose rate measurements were conducted on the territory of Kharkiv city center, which is bounded by the Lopan and Kharkiv rivers prior to their confluence, during October 2019. A simple model for constructing the field of radiation background on the terrain according to the results of the dose rate of continuous X-ray and gamma radiation measurements at a finite number of fixed observation points using the equation of a continuous linear regression along a broken line connecting the center of the zone to the farthest peripheral anti-clockwise, or counter - clockwise to the outer center was developed. The radiation pollution maps were developed according to the average values of the radiation dose rate, which has been calculated using both regression models. The error of the model has been considered as a half of the absolute difference of these values. It was determined that the maximum dose rate was observed near the 23rd checkpoint - the beginning of the Kharkiv Bridge. The minimum dose rate - at the 16th and 17th points - the "arrows" of two rivers - Lopan and Kharkiv and near the 24th point - in the square on the Kharkiv river embankment.

**Conclusions.** The condition of the radiation background in the territory of the historical center of Kharkiv during October 2019 is within the normal range. The model made it possible to build a reliable map of radiation pollution on the controlled area based on local measurements results at a certain number of control points and to determine the absolute prediction error, which did not exceed the instrument division. The model can be used for monitoring other types of pollution.

**KEYWORDS:** radiation monitoring, X-ray, gamma-radiation, regression cartography

Гетманец О. М., Пелихатый Н. М., Переверзев Б. Г.

*Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина*

#### ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОГО ФОНА НА ТЕРРИТОРИИ ИСТОРИЧЕСКОГО ЦЕНТРА г. ХАРЬКОВА

Исследование радиационного фона на территории исторического центра г. Харькова, где сосредоточены культурные и религиозные памятники, городские административные учреждения, учебные заведения, банковские учреждения, многочисленные кафе, рестораны и магазины, всегда является актуальным.

**Цель.** Исследовать состояние радиационного фона на территории исторического центра г. Харькова и построить соответствующие карты радиационного загрязнения.

**Методы** Измерения с помощью дозиметра MKC-05 «ТЕРРА»; методы регрессионной картографии.

**Результаты.** Измерения мощности дозы непрерывного рентгеновского и гамма-излучения проведены на территории центра г. Харькова, ограниченной реками Лопань и Харьков до их слияния, в течение октября 2019. Разработана простая модель построения поля радиационного фона на контролируемой территории по данным результатов измерений амбиентного эквивалента мощности дозы непрерывного рентгеновского и гамма-излучения в конечном числе фиксированных точек наблюдений с применением уравнения кусочно-непрерывной линейной регрессии вдоль ломаной линии, которая последовательно соединяет все точки наблюдений от центральной до периферийной против часовой стрелки или, наоборот, от последней внешней к центральной по часовой стрелке. Карту радиационного загрязнения строили по средним значениям мощности дозы излучения, которые были вычислены с помощью обеих уравнений регрессии. Абсолютной ошибкой модели считали половину абсолютной разности этих значений. Определено, что максимальная мощность дозы наблюдалась вблизи 23-й контрольной точки - начала Харьковского моста. Минимальная мощность дозы - около 16-й и 17-й точек - «стрелки» двух рек - Лопани и Харькова и вблизи 24-й точки - в сквере на Харьковский набережной.

**Выводы.** Состояние радиационного фона на территории исторического центра г. Харькова в течение октября 2019 в пределах нормы. Модель позволила надежно построить карты радиационного загрязнения всей контролируемой территории на основании результатов локальных измерений в конечном числе точек и определить абсолютную ошибку прогноза, которая находилась в пределах цены отсчета прибора. Модель может найти применение для мониторинга других видов загрязнений.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** радиационный мониторинг, рентгеновское излучение, гамма-излучение, регрессионная картография

#### Вступ

Як відомо, після Чорнобильської катастрофи у квітні 1986 р. Україна привертає до себе особливу увагу в зв'язку з проблемами підвищеного радіаційного фону. Відповідно до «Дозиметричної паспортизації населених пунктів України, які піддалися радіоактивному забрудненню після Чорнобильської аварії» [1], Харківська область не

відноситься до регіонів, які постраждали внаслідок радіаційної аварії на ЧАЕС.

Проте існують інші чинники, які впливають на радіаційну ситуацію в регіоні. Так, 8 серпня 2019 року в акваторії Білого моря під Северодвінськом (Російська Федерація) під час випробувань вибухнула російська ракета. Радіоактивна хмара піс-



ля вибуху кілька днів знаходилася над територією України. Про це свідчить карта, що оприлюднена у Twitter виконавчим секретарем Організації Договору про всеосяжну заборону ядерних випробувань Ласінною Зербо [2]. Але, як повідомили на сайті ДСНС України, результати вимірювань у період з 10 по 18 серпня свідчать про те, що радіаційний фон в Україні не зазнав ніяких змін, а саме потужність експозиційної дози на всій території України знаходиться в своїх звичних межах, в повітряних пробах не виявлено додаткових радіонуклідів, які можуть свідчити про проходження над територією України радіоактивно забруднених мас [3].

Також, за повідомленням МГ «Об'єktiv» [4], на початку літа в Харкові виявлено підвищений рівень гамма-радіації (близько 1,8 мкЗв/год) біля основи постаменту пам'ятника засновникам міста на пе-

ретині проспектів Науки і Незалежності. Цей пам'ятник роботи скульптора З. Церетелі подаровано Харкову Москвою на честь 350-річчя заснування Харкова. Літом 2019 року пам'ятник було огорожено парканом і після цього проведено повну заміну облицювальних плит з граніту. Роботи нещодавно закінчилися.

Саме тому дослідження радіаційного фону на території історичного центру м. Харкова, де скупчені культурні та релігійні пам'ятники, міські адміністративні установи, заклади освіти, банківські установи, чисельні об'єкти громадського харчування та крамниці, є дуже актуальним, бо в достатньому обсязі вони ніколи не проводилися. Слід зазначити, що саме тут завжди має місце скупчення городян, а також збираються чисельні групи туристів, прочан і інших гостей міста.

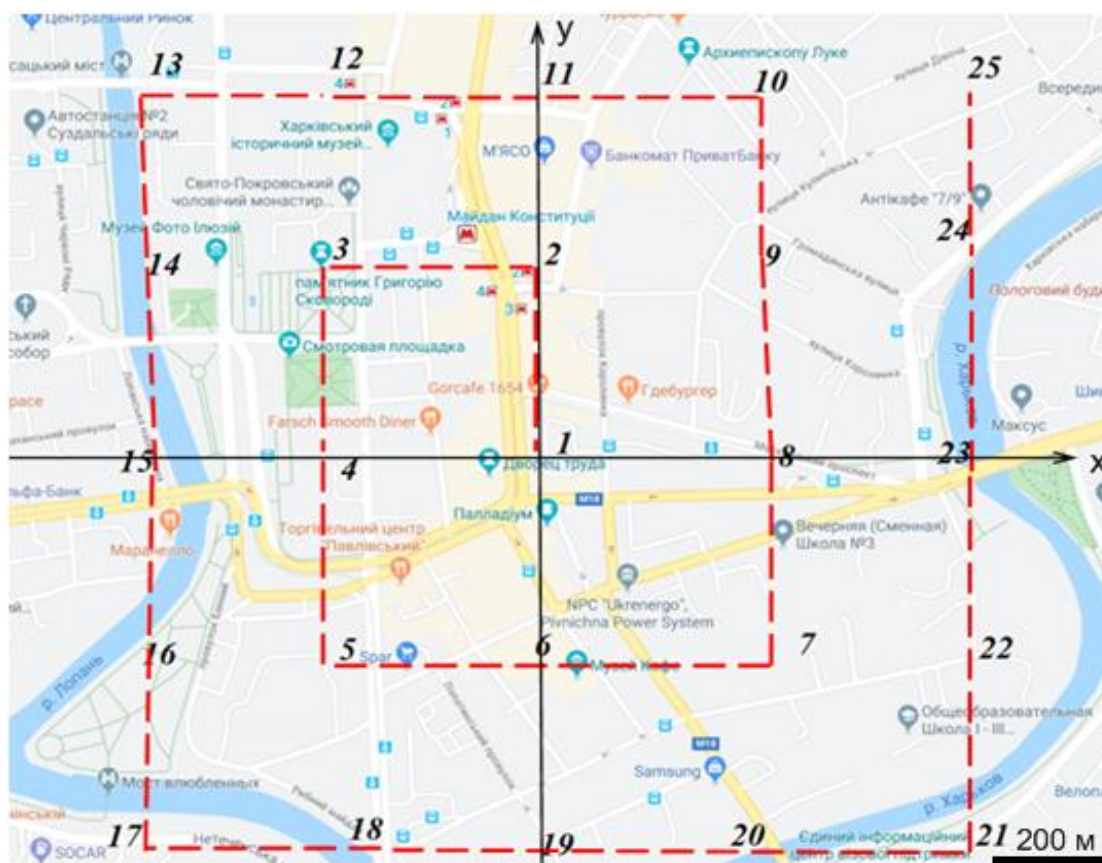


Рис. 1 – Схема розташування точок спостережень на території історичного центру м. Харкова

### Об'єкти та методи досліджень

В якості матеріалів досліджень використані результати вимірювань рівня амбієнтного еквіваленту потужності дози непе-

рервного рентгенівського та гамма-випромінювання на частині території м. Харкова, яка обмежена річками Лопань та Хар-

ків аж до їх зливання. Вимірювання проведені на протязі жовтні 2019 року щоденно з 10 по 12 годину за допомогою дозиметра МКС-05 «ТЕРРА» з абсолютною похибкою приладу 0,01 мкЗв/год, який застосовується для дозиметричного і радіометричного контролю на промислових підприємствах; для

екологічних досліджень; для контролю радіаційної чистоти житлових приміщень, будівель і споруд та прилеглих до них територій. Карта території, на якій проводилися дослідження, наведена на рисунку 1. На цій карті показано розташування усіх 25-ти контрольних точок спостережень.

### Результати досліджень

В таблиці 1 наведені результати вимірювань амбієнтного еквіваленту потужності дози в усіх 25 контрольних точках, починаючи з 01.10 по 31.10 2019 р. Координати вказані у метрах відносно 1-ї контрольної точки. При цьому вісь Ох спрямована на північ, вісь Оу – на схід, як це показано на рисунку 1.

Як свідчать дані цієї таблиці, в жодній контрольній точці за весь період спостережень (жовтень 2019 р.) не зафіксовано перевищення критичного рівня потужності дози (0,30 мкЗв/год [5]). Дані в цілому узгоджуються з результатами вимірювань, що проведені Харківським Обласним Лабораторним Центром ДСЕСУ 19 жовтня 2019 р., в яких одержані значення потужності дози зовнішнього гамма-випромінювання в діапазоні 0,11 – 0,15 мкЗв/год [6].

На першому етапі досліджень визначалася мінливість потужності дози випромінювання з часом та всередині контрольованої зони від однієї контрольної точки до іншої. Для цього до первинної обробки даних таблиці 1 застосовано двохфакторний дисперсійний аналіз за допомогою програми MS Excel (інструменти: «Аналіз даних»: «Двохфакторний дисперсійний аналіз без повторень»). Результати наведені в таблиці 2.

Таким чином, вплив фактору часу за період проведення вимірювань становив лише 6 %; варіабельність даних між точками вимірювань становила 58 %; вплив випадкових чинників є суттєвим – 36 %.

Для подальшої обробки даних і побудови карти радіаційного фону розроблена проста модель, яку можна віднести до методів регресійної картографії або “Land Use

Regression methods” [7]. Спочатку слід відзначити, що в наших попередніх роботах застосовувалися різні регресійні моделі у вигляді поліному високого ступеня за координатами [9–15] або за відстанню  $l$  вздовж деякої ламаної лінії, яка з'єднувала відсортовані за зростанням потужності дози контрольні точки [16–17]. Ці моделі взагалі добре описували поле радіаційного фону всередині контрольованої зони та біля її меж, але мали значення коефіцієнтів детермінації, які не перевищували  $R^2 = 0,95$ , бо ступень поліному була обмежена кількістю контрольних точок та умовою значущості рівняння нелінійної регресії в цілому. Взагалі питання щодо точності цих моделей залишалось відкритим.

Тому в даній роботі розроблена спрощена регресійна модель, яка не потребує застосування рівняння нелінійної регресії. Для пояснення цього підходу послідовно з'єднаємо усі контрольні точки від 1-ї до 25-ї проти годинникової стрілки відрізками прямої лінії, як це показано пунктиром на рисунку 1. Відстань  $l$  довільної точки  $M$  з координатами  $x, y$  на ламаній від 1-ї є  $l = l_i + \Delta l_i$ , де  $l_i$  – відстань попередньої до неї  $i$ -ї контрольної точки з координатами  $x_i, y_i$  від 1-ї вздовж ламаної;

$\Delta l_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}$  – відстань між довільною точкою  $M$  та попередньою до неї контрольної точки. Залежність потужності дози  $z$  від відстані  $l$  вздовж ламаної на рисунку 1 може бути представлена у вигляді:

$$z(l) = \sum_{i=1}^k \left[ z_i + \frac{(z_{i+1} - z_i) \cdot (l - l_i)}{l_{i+1} - l_i} \right] \cdot \vartheta(l - l_i) \cdot \vartheta(l_{i+1} - l), \quad (1)$$

де  $\vartheta(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x, \\ 0, & x < 0 \end{cases}$  – ступінчаста функція Хевісайда;  $k$  – номер контрольної точки, яка

лежить на ламаній безпосередньо за точкою  $M$ .



Таблиця 1

**Результати вимірювань амбієнтного еквіваленту потужності дози в усіх контрольних точках (мкЗв/год)**

Координати Дата	№ точки спостереження												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
X, м	0	-5	-262	-259	-275	-2	269	235	255	249	-8	-263	-526
Y, м	0	255	270	4	-247	-253	-244	17	285	549	517	533	522
01.10.19	0,13	0,13	0,14	0,14	0,11	0,13	0,13	0,12	0,13	0,15	0,14	0,14	0,12
02.10.19	0,13	0,12	0,12	0,14	0,11	0,14	0,15	0,11	0,12	0,16	0,11	0,12	0,13
03.10.19	0,12	0,10	0,12	0,15	0,11	0,14	0,13	0,13	0,11	0,14	0,13	0,15	0,09
04.10.19	0,14	0,13	0,12	0,14	0,13	0,12	0,13	0,13	0,13	0,15	0,14	0,13	0,13
05.10.19	0,13	0,13	0,13	0,15	0,13	0,12	0,13	0,12	0,13	0,14	0,14	0,14	0,12
06.10.19	0,13	0,13	0,12	0,14	0,14	0,12	0,14	0,13	0,14	0,13	0,12	0,14	0,13
07.10.19	0,14	0,13	0,12	0,14	0,12	0,12	0,13	0,15	0,14	0,13	0,15	0,13	0,11
08.10.19	0,13	0,11	0,13	0,14	0,13	0,14	0,14	0,13	0,14	0,15	0,14	0,13	0,11
09.10.19	0,12	0,13	0,12	0,12	0,12	0,13	0,11	0,13	0,13	0,15	0,14	0,12	0,14
10.10.19	0,14	0,14	0,14	0,18	0,12	0,12	0,15	0,12	0,14	0,11	0,14	0,14	0,12
11.10.19	0,14	0,14	0,12	0,14	0,13	0,12	0,12	0,15	0,12	0,13	0,15	0,15	0,12
12.10.19	0,15	0,13	0,10	0,14	0,13	0,08	0,13	0,15	0,11	0,12	0,15	0,13	0,10
13.10.19	0,15	0,14	0,14	0,14	0,11	0,14	0,15	0,13	0,14	0,15	0,15	0,14	0,11
14.10.19	0,15	0,14	0,12	0,16	0,15	0,14	0,14	0,14	0,12	0,14	0,14	0,15	0,15
15.10.19	0,13	0,16	0,18	0,18	0,15	0,13	0,15	0,14	0,12	0,15	0,15	0,15	0,15
16.10.19	0,12	0,12	0,13	0,14	0,12	0,11	0,15	0,11	0,13	0,12	0,15	0,13	0,11
17.10.19	0,15	0,14	0,14	0,16	0,13	0,10	0,13	0,14	0,12	0,14	0,15	0,13	0,11
18.10.19	0,14	0,12	0,14	0,16	0,13	0,11	0,14	0,14	0,12	0,14	0,15	0,11	0,11
19.10.19	0,14	0,14	0,15	0,16	0,13	0,11	0,13	0,13	0,12	0,12	0,15	0,11	0,13
20.10.19	0,11	0,14	0,14	0,15	0,14	0,11	0,13	0,12	0,12	0,14	0,16	0,13	0,11
21.10.19	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,11	0,10	0,10	0,15	0,14	0,10	0,14
22.10.19	0,11	0,12	0,14	0,15	0,12	0,11	0,13	0,12	0,11	0,13	0,16	0,11	0,12
23.10.19	0,12	0,13	0,14	0,15	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,13	0,15	0,13	0,14
24.10.19	0,12	0,14	0,14	0,15	0,12	0,13	0,14	0,12	0,12	0,15	0,13	0,12	0,11
25.10.19	0,12	0,12	0,14	0,15	0,13	0,13	0,13	0,14	0,13	0,13	0,13	0,14	0,12
26.10.19	0,14	0,13	0,12	0,16	0,12	0,12	0,14	0,13	0,13	0,14	0,15	0,13	0,13
27.10.19	0,11	0,13	0,15	0,16	0,12	0,12	0,13	0,12	0,11	0,14	0,15	0,14	0,12
28.10.19	0,12	0,13	0,14	0,15	0,12	0,11	0,12	0,12	0,12	0,14	0,14	0,11	0,14
29.10.19	0,13	0,12	0,13	0,15	0,12	0,12	0,13	0,12	0,11	0,14	0,15	0,11	0,12
30.10.19	0,11	0,12	0,14	0,15	0,13	0,12	0,12	0,12	0,11	0,13	0,15	0,16	0,12
31.10.19	0,12	0,13	0,14	0,15	0,12	0,12	0,13	0,12	0,11	0,14	0,15	0,14	0,13

продовження таблиці 1

Координати Дата	№ точки спостереження											
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
X, м	-505	-518	-516	-527	-251	-3	258	512	518	512	509	505
Y, м	282	13	-250	-507	-501	-517	-506	-502	-241	12	276	533
01.10.19	0,12	0,15	0,11	0,14	0,11	0,14	0,13	0,11	0,12	0,18	0,15	0,14
02.10.19	0,15	0,15	0,12	0,13	0,13	0,15	0,15	0,14	0,14	0,20	0,10	0,14
03.10.19	0,12	0,12	0,11	0,13	0,12	0,15	0,13	0,11	0,09	0,17	0,14	0,15
04.10.19	0,13	0,15	0,10	0,13	0,11	0,14	0,14	0,11	0,13	0,18	0,12	0,13
05.10.19	0,13	0,13	0,09	0,13	0,12	0,16	0,14	0,12	0,10	0,19	0,12	0,14
06.10.19	0,11	0,12	0,13	0,16	0,11	0,15	0,14	0,12	0,12	0,16	0,14	0,14
07.10.19	0,13	0,14	0,12	0,16	0,12	0,16	0,13	0,12	0,13	0,18	0,14	0,13
08.10.19	0,13	0,13	0,10	0,14	0,12	0,15	0,14	0,13	0,11	0,19	0,12	0,14
09.10.19	0,13	0,12	0,14	0,16	0,10	0,15	0,13	0,14	0,13	0,17	0,14	0,13
10.10.19	0,14	0,13	0,13	0,18	0,12	0,16	0,14	0,14	0,11	0,18	0,15	0,13
11.10.19	0,12	0,15	0,12	0,15	0,13	0,16	0,13	0,13	0,13	0,17	0,15	0,14
12.10.19	0,14	0,14	0,10	0,18	0,10	0,18	0,11	0,12	0,14	0,18	0,12	0,14
13.10.19	0,15	0,15	0,11	0,12	0,13	0,18	0,13	0,10	0,15	0,17	0,12	0,13
14.10.19	0,13	0,15	0,11	0,13	0,11	0,13	0,14	0,12	0,12	0,20	0,12	0,13
15.10.19	0,14	0,15	0,13	0,14	0,12	0,17	0,14	0,14	0,14	0,22	0,14	0,14
16.10.19	0,12	0,11	0,09	0,10	0,11	0,18	0,08	0,11	0,10	0,17	0,10	0,14
17.10.19	0,12	0,13	0,11	0,14	0,12	0,15	0,11	0,12	0,11	0,17	0,11	0,14
18.10.19	0,12	0,13	0,12	0,14	0,12	0,15	0,12	0,12	0,11	0,18	0,11	0,14
19.10.19	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,15	0,14	0,12	0,12	0,19	0,10	0,13
20.10.19	0,12	0,13	0,12	0,13	0,12	0,15	0,11	0,12	0,11	0,20	0,12	0,12
21.10.19	0,09	0,14	0,12	0,12	0,12	0,18	0,12	0,11	0,11	0,20	0,11	0,13
22.10.19	0,11	0,14	0,12	0,13	0,12	0,12	0,13	0,12	0,12	0,19	0,11	0,13
23.10.19	0,12	0,13	0,11	0,12	0,11	0,15	0,11	0,13	0,13	0,20	0,12	0,13
24.10.19	0,13	0,13	0,11	0,13	0,12	0,15	0,14	0,13	0,11	0,19	0,12	0,14
25.10.19	0,13	0,13	0,12	0,15	0,11	0,15	0,14	0,13	0,12	0,17	0,13	0,14
26.10.19	0,14	0,13	0,11	0,12	0,12	0,16	0,11	0,12	0,12	0,19	0,12	0,14
27.10.19	0,11	0,14	0,11	0,14	0,12	0,15	0,13	0,12	0,12	0,18	0,12	0,14
28.10.19	0,12	0,14	0,11	0,14	0,12	0,16	0,13	0,13	0,12	0,20	0,13	0,13
29.10.19	0,13	0,13	0,12	0,14	0,11	0,15	0,12	0,12	0,12	0,20	0,13	0,13
30.10.19	0,13	0,14	0,12	0,13	0,12	0,14	0,13	0,13	0,12	0,19	0,12	0,13
31.10.19	0,13	0,14	0,11	0,13	0,12	0,15	0,12	0,13	0,12	0,20	0,13	0,13

Таблиця 2

Результати застосування двохфакторного дисперсійного аналізу для первинної обробки даних вимірювань

Дисперсійний аналіз						
Джерело варіації	SS	df	MS	F	P-значення	F критичне
Рядки	0,016552	30	0,000552	4,003808	1,37E-11	1,475057
Стовпчики	0,159904	24	0,006663	48,35027	1,6E-132	1,532478
Похибка	0,099216	720	0,000138			
Разом	0,275672	774				

Тобто рівняння (1) є рівнянням кусково-неперервної функції лінійної регресії, що описує розподіл потужності дози  $z$  вздовж ламаної на рисунку 1. На рисунку 2 наведено графік цієї функції за даними таблиці 1 від 5 жовтня 2019 р.

Для побудови карти радіаційного фону необхідно рівняння регресії (1) поширити на довільну точку  $M(x,y)$  контрольованої зони. Для цього застосуємо наступний алгоритм. Спочатку відшукуємо найближчу до точки  $M$  контрольну точку  $M_i$ . Потім з'єднуємо точку  $M$  з попередньою до  $M_i$  контрольною точкою  $M_{i-1}$ , як це показано на рисунку 3.

Відстань між цими точками позначимо як  $\Delta l_{M,M_{i-1}}$ . Тоді відстань від точки  $M$  до

1-ї точки вздовж ламаної складе:

$l = l_{i-1} + \Delta l_{M,M_{i-1}}$ . Це значення відстані  $l$

будемо підставляти в рівняння регресії (1) для знаходження потужності дози в точці  $M$ . Якщо б ми визначали відстань до точки  $M$  як  $l = l_i + \Delta l_{M,M_i}$ , то одержали б завищене

значення для  $\Delta l_{M,M_{i-1}} < \Delta l_{i,i-1}$ , оскільки

$\Delta l_{i,i-1} \leq \Delta l_{M,M_{i+1}} + \Delta l_{M,M_{i-1}}$ .

Слід відмітити, що при такому підході коефіцієнт детермінації завжди дорівнює одиниці.

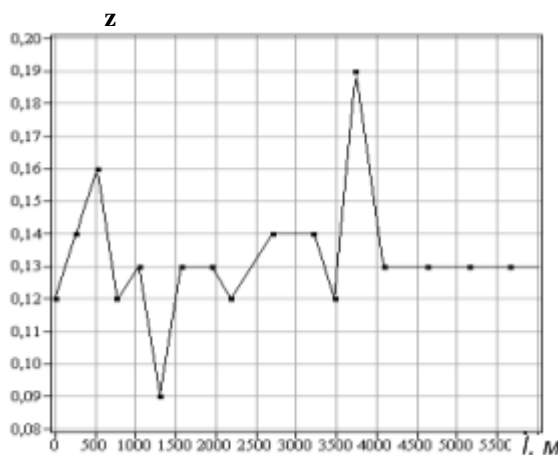


Рис. 2 – Графік функції (1) для потужності дози  $z$  (мкЗв/год) в залежності від відстані вздовж ламаної

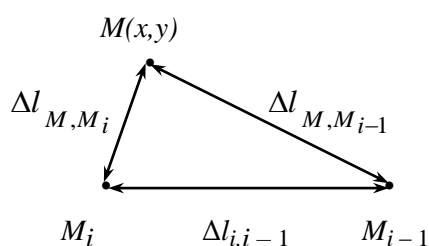


Рис. 3 – Схема побудови поля радіаційного фону

Описану процедуру можна здійснити і навпаки: виходячи з останньої найбільш віддаленої від центру 25-ї точки, рухатися за годинниковою стрілкою до 1-ї точки. Тоді в рівнянні регресії слід перенумерувати контрольні точки в зворотному порядку. Зрозуміло, що карти радіаційного фону, побудовані цими двома способами, будуть певною мірою відрізнятися. Тому за дійсне значення потужності дози слід прийняти

середнє значення з одержаних двома способами, а абсолютною похибкою моделі вважати половину абсолютної різниці цих значень. В якості прикладу на рисунках 4 та 5 наведені карти радіаційного фону станом на 5 жовтня і на 15 жовтня 2019 р., відповідно.

Обидві карти свідчать про те, що максимальна потужність дози спостерігалася поблизу 23-ї контрольної точки – початку Харківського мосту. Це ж можна побачити і

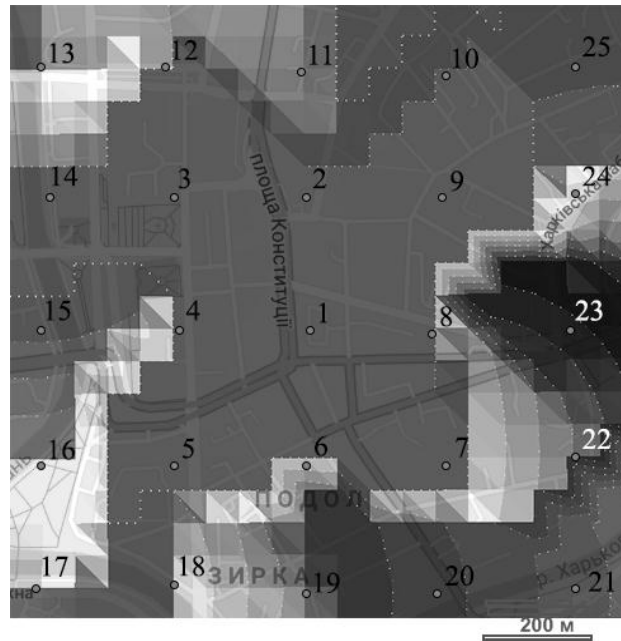
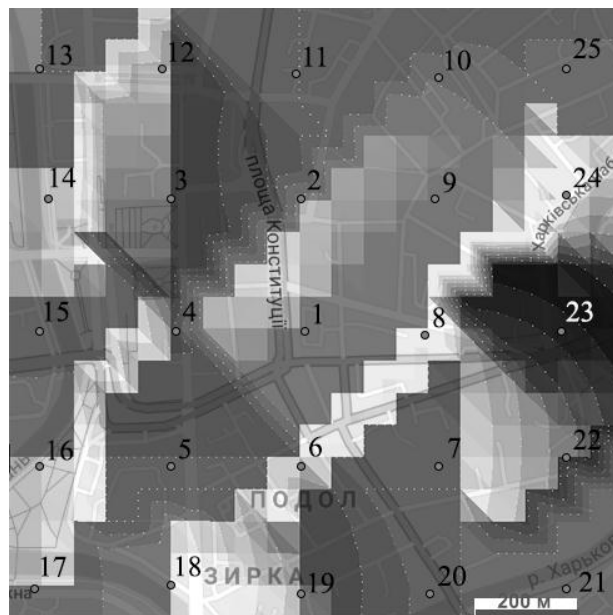


Рис. 4 – Карта радіаційного фону станом на 05.10.2019: білий колір – 0,09 мкЗв/год, чорний – 0,19 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном



білий колір – 0,12 мкЗв/год,  
чорний – 0,22 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном

Рис. 5 – Карта радіаційного фону станом на 15.10.2019:

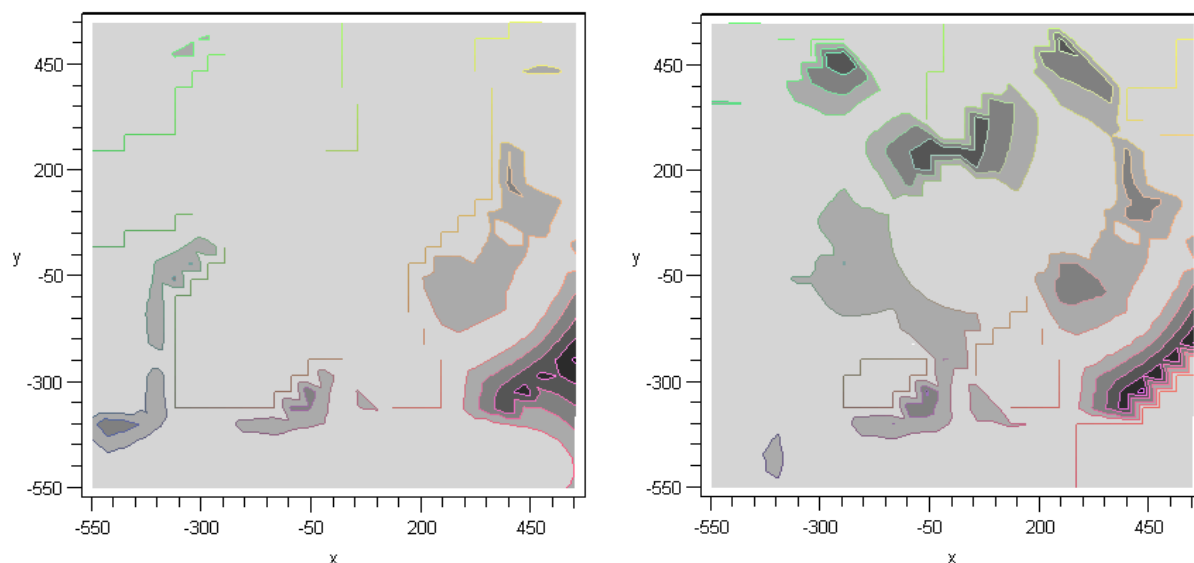
з таблиці 1 за весь період спостережень. Цей факт можна пояснити тим, що саме тут, на мосту, збігаються три великих транспортних потоки: з вулиці Шевченка, Московського проспекту та Кооперативної вулиці. Також тут знаходяться два пам'ятники на честь 300-річчя Переяславської Ради (скульптор

М. Овсянкін). Їх постаменти зроблено з великих гранітних глиб. А, як відомо, граніт завжди є джерелом фонові радіації [18].

Мінімальна потужність дози була біля 16-ї та 17-ї точок – «стрілки» двох річок – Лопані і Харкова та поблизу 24-ї точки – в сквері на Харківській набережній.

На рисунку 6 наведено карти абсолютних помилок вимірювань радіаційного фону. Як можна бачити з цих рисунків, ма-

ксимальна помилка запропонованої моделі ніде не перевищує ціни поділки дозиметра – 0,01 мкЗв/год.



а) 05.10.2019 р.

б) 15.10.2019 р.

білий колір – 0 мкЗв/год,  
чорний – 0,010 мкЗв/год через 0,002 мкЗв/год за тоном (x і y в метрах)

**Рис. 6** – Карти абсолютних помилок вимірювань радіаційного фону

### Висновки

Досліджено стан радіаційного фону на території історичного центру м. Харкова на протязі жовтня 2019 року. Одержані значення потужності дози знаходяться в межах норми (30 мкЗв/год) і добре узгоджуються з результатами вимірювань, які були проведені Харківським Обласним Лабораторним Центром ДСЕСУ також в жовтні 2019 р. На підставі одержаних даних побудовані карти радіаційного фону для кожної доби спостережень і встановлена їх абсолютна похибка, яка не перевищувала значення відліку дозиметра. Карти дозволяють визначити структуру радіаційного забруднення на контрольованій території і виявляти основні його

джерела. А саме, максимальне значення потужності дози постійно спостерігалось на в'їзді на Харківський міст, що можна пояснити злиттям транспортних потоків, а також застосуванням будівельних матеріалів, які є джерелом підвищеної радіації. Мінімальне значення радіаційного фону спостерігалось в скверах на набережних річок Лопань і Харків, які знаходяться в осторонь від транспортних магістралей. Розроблена методика побудови карт може бути також застосована для моніторингу інших видів забруднень в програмах екологічних досліджень.

### Конфлікт інтересів

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

### Література

1. Загальнодозиметрична паспортизація населених пунктів України, які зазнали радіоактивного забруднення після Чорнобильської аварії. Київ: МОЗ України, Міністерство України з питань надзвичайних

- ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи, НЦПМ АМН України, 1997. 36. 6. 103 с.
- Zerbo Lassina Для запитів на виявлення #IMS за межами #СТВТ аналізуються дані в або поблизу шляху потенційного шлейфу від вибуху. URL: <https://twitter.com/SinaZerbo/status/1163094836569882625> (дата звернення: 02.03.2020).
  - Оперативна інформація щодо виникнення надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру та резонансних подій, що виникли за межами України, станом на 7 годин 9 серпня 2019 року. URL: <https://www.dsns.gov.ua/ua/Nadzvichayni-situaciyi-za-kordonom/97451.html>. (дата звернення: 02.03.2020).
  - Бойко Ю., Бойко А. Ю. Чи пов'язана велика сума реставрації пам'ятника Харку з радіацією (відео): "Об'єктив". URL: <https://www.objectiv.tv/objectively/2019/09/24/chi-pov-yazana-velika-suma-restavratsiyi-pam-yatnika-harku-z-radiatsiyeyu-video/> (дата звернення: 02.03.2020).
  - Норми радіаційної безпеки України. Доповнення: радіаційний захист від джерел потенційного опромінення НРБУ-97/Д-2000. Державні гігієнічні нормативи (ДГН 6.6.1.-6.5.061-2000). Затверджено постановою Головного державного санітарного лікаря України від 12.07.2000 р. № 116.
  - Державна установа "Харківський обласний лабораторний центр Міністерства охорони здоров'я України". Опубліковано 19.10.2019. URL: <http://labcenter.kh.ua/>. (дата звернення: 02.03.2020).
  - Антропов К. М., Казамер Ю. И., Вараксин А. Н. Описание пространственного распределения загрязнения атмосферного воздуха промышленного центра методом Land Use Regression (обзор). *Экологические системы и приборы*, 2010. № 1. С. 28–41.
  - Некос В. Ю., Юшманова І. П., Пеліхатий М. М. Розробка систем радіаційного моніторингу довкілля. *Журнал наукових праць: Людина і довкілля. Проблеми неоекології*. Харків, 2007. № 9. С. 52–62.
  - Некос В. Ю., Юшманова І. П., Пеліхатий М. М. Методи і алгоритми визначення радіаційного стану довкілля. *Журнал наукових праць. Людина і довкілля. Проблеми неоекології*. 2008. № 1–2 (11–12). С. 90–98.
  - Некос В. Е., Гетманец О. М., Пелихатый Н. М. Алгоритмы радиационного мониторинга местности в режиме реального времени. *Журнал наукових праць. Людина і довкілля. Проблеми неоекології*. 2009. № 2 (13). С. 7–13.
  - Гетманець О. М., Гордієнко В. Г., Дроздов О. О., Пелихатый М. М. Спосіб радіаційного моніторингу місцевості у режимі реального часу: пат. 50154 Україна: МПК G01T1/167. № u200912882; заявл. 11.12.2009; опубл. 25.05.2010. Бюл. № 10. 4 с.
  - Гетманец О. М., Гордиенко В. Г., Дроздов А. А., Пелихатый Н. М. Радиационный мониторинг местности в режиме реального времени при помощи волоконно-оптического дозиметра. *Вісник ХНУ ім. В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2011. № 944. С. 83–86. URL: <https://periodicals.karazin.ua/ecology/article/view/759>
  - Гетманець О. М., Гордієнко В. Г., Дроздов О. О., Пелихатый М. М. Спосіб радіаційного моніторингу реальної місцевості у режимі реального часу за допомогою волоконно-оптичного дозиметра: пат. 62252 Україна: МПК G01T1/167. № 201015171; заявл. 18.12.2010; опубл. 25.08.2011. Бюл. № 16. 4 с.
  - Смець В. М., Пелихатый М. М., Гетманець О. М. Система автоматичного моніторингу території: пат. 84133 Україна: МПК G01W 1/00, G08C 17/02. № 201304743; заявл. 15.04.2013; опубл. 10.10.2013. Бюл. № 19. 5 с.
  - Гетманец О. М., Пелихатый Н. М. Разработка алгоритма построения поля радиационного фона. *Вісник ХНУ ім. В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2016. Вип. 14. С. 41–45. URL: <https://periodicals.karazin.ua/ecology/article/view/6343>
  - Гетманець О. М., Іванова К. Ю., Пеліхатий М. М. Модель побудови поля радіаційного фону. *Вісник ХНУ ім. В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2017. Вип. 17. С. 99–105.
  - Гетманец О. М. Спосіб радіаційного моніторингу місцевості в режимі реального часу: пат. 125329 Україна: МПК G01T1/167. № 201711031; заявл. 23.01.2018; опубл. 10.08.2018. Бюл. № 15. 3 с.
  - DmitrySpb79. Радиация и радиоактивные артефакты в быту — стоит ли их бояться? URL: <https://habr.com/ru/post/400605/>. (дата звернення: 02.03.2020).

## References

- General dosimetric certification of settlements of Ukraine that have been exposed to radioactive pollution after the Chernobyl accident. (1997). Kyiv: Ministry of Health of Ukraine, Ministry of Ukraine for Emergency Situations and for the Protection of the Population from the Consequences of the Chornobyl Catastrophe, National Academy of Medical Sciences of Ukraine, 6 (in Ukrainian).
- Zerbo, L. (2019, August 18). To requests on #IMS detection beyond #СТВТ, data in, or near the path of potential plume from the explosion are being analyzed . We're also addressing w/station operators technical problems experienced at two neighboring stations. All data are available to our Member States.

- <https://t.co/pHL4WrHU23> [pic.twitter.com/9aO5cQTlls](https://pic.twitter.com/9aO5cQTlls) Retrieved from <https://twitter.com/SinaZerbo/status/1163094836569882625>
3. Operational information on emergencies of man-caused and natural nature and resonant events that occurred outside of Ukraine. (2019). Retrieved from <http://www.dsns.gov.ua/en/Nadzvichayni-situaciyi-za-kordonom/97451.html>
  4. Boyko, Yu., & Boyko, A. Yu. (2019). Is the large amount of restoration of the monument to Kharkiv related to radiation (video): "Lens". Retrieved from <https://www.objectiv.tv/objectively/2019/09/24/chi-pov-yazana-velika-suma-restavratsiyi-pam-yatnika-harku-z-radiatsiyeyu-video/> (in Ukrainian).
  5. The norms of radiation safety of Ukraine. (2000). Addendum: radiation protection from sources of potential irradiation NRB-97 / D-2000. State hygiene standards (DGN 6.6.1.-6.5.061-2000) (in Ukrainian).
  6. State Institution "Kharkiv Regional Laboratory Center of the Ministry of Health of Ukraine". (2019). Retrieved from <http://labcenter.kh.ua/> (in Ukrainian).
  7. Antropov, K. M., Kazmer, Yu. I. & Varaksin, A. N. (2010). Description of the spatial distribution of atmospheric air pollution in an industrial center by the Land Use Regression method (review). *Ecological Systems and Instruments*, (1), 28–41 (in Russian).
  8. Nekos, V. Yu., Yushmanova, I. P. & Pelikhaty, N. M. (2007). Development of radiation monitoring systems of environment. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, 9, 52–62 (in Ukrainian).
  9. Nekos, V. Yu., Yushmanova, I. P. & Pelikhaty, N. M. (2008). The methods and algorithms for determining the radiation state of the environment. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (1–2), 90–98 (in Ukrainian).
  10. Nekos, V. Yu., Getmanets, O. M. & Pelikhaty, N. M. (2009). The algorithms of radiation monitoring of areas in the real time. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, 13, (2), 7–13 (in Russian).
  11. Hetmanets, O. M., Gordienko, V. G., Drozdov, O. O., & Pelikhaty, M. M. (2010). Method for radiation monitoring of locality in real time. Patent of Ukraine for useful model. G01T1/15. 50154; declared 11.12.2009; published 25.05.2010 (in Ukrainian).
  12. Getmanets, O. M., Gordienko, V. G., Drozdov, A. A. & Pelikhaty, N. M. (2011). Radiation monitoring of the area in real time using a fiber optic dosimeter. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University series "Ecology"*, (944), 83–86. Retrieved from <https://periodicals.karazin.ua/ecology/article/view/759> (in Russian).
  13. Hetmanets, O. M., Gordienko, V. G., Drozdov, O. O. & Pelikhaty, M. M. (2011). Method for radiation monitoring of locality in mode of real time by means of fiber-optical dosimeter. Patent of Ukraine for useful model. G01T1/167. № 62252; declared 16.12.2010; published 25.08.2011 (in Ukrainian).
  14. Yemets, V. M., Pelikhaty, M. M. Hetmanets, O. M. (2013). System of Automatic Monitoring of territory. Patent of Ukraine for useful model. G01W1/00, G08C17/00. № 84133; declared 15.04.2013; published 10.10.2013 (in Ukrainian).
  15. Getmanets, O. M. & Pelikhaty, N. M. (2016). Development the algorithm for construction the field of radiation background. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University series "Ecology"*, (14), 41 – 45. Retrieved from <https://periodicals.karazin.ua/ecology/article/view/6343> (in Russian).
  16. Getmanets, O. M., Ivanova K. Yu. & Pelikhaty N. M. (2017). Model of radiation field background construction. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University series "Ecology"*, (17), 99–105. Retrieved from <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2017-17-11> (in Ukrainian).
  17. Hetmanets, O. M. (2018). System of Automatic Monitoring of territory. Patent of Ukraine for useful model. G01T1/167. № 125329; declared 13.11.2017; published 10.05.2018 (in Ukrainian).
  18. DmitrySpb79. (2017). Radiation and radioactive artifacts in everyday life – should they be feared? Retrieved from <https://habr.com/ru/post/400605/> (in Russian).

Надійшла до редколегії 02.03.2020

Прийнята 15.04.2020



УДК (UDC) 630\*43

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-22-06>

Ю. В. БУЦ<sup>1</sup>, канд. геогр. наук, доц., О. В. КРАЙНЮК<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
А. Н. НЕКОС<sup>3</sup>, д-р геогр. наук, проф. В. В. БАРБАШИН<sup>4</sup>, канд. техн. наук, доц.

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

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

<sup>3</sup>Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна  
майдан Свободи, 4, м. Харків, Україна, 61000

<sup>4</sup>Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова  
вул. Маршала Бажанова, 17, м. Харків, Україна, 61002

e-mail: [butsyura@ukr.net](mailto:butsyura@ukr.net)  
[alenauvarova@ukr.net](mailto:alenauvarova@ukr.net)  
[nekos@karazin.ua](mailto:nekos@karazin.ua)  
[barbachyn@ukr.net](mailto:barbachyn@ukr.net)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0450-2617>  
<https://orcid.org/0000-0001-9524-040X>  
<https://orcid.org/0000-0003-1852-0234>  
<https://orcid.org/0000-0003-3262-8305>

## ПИРОГЕННИЙ ВПЛИВ НА ХВОЙНІ ДЕРЕВОСТАНИ В УМОВАХ ТЕХНОГЕННО-ЕКОЛОГІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

**Мета.** Розробка моделі впливу температури на стовбур дерева у залежності від тривалості впливу, відстані від кромки пожежі, від висоти пожежі.

**Методи.** Математичне моделювання.

**Результати.** Аналітичне дослідження теплопровідності зведено до вивчення просторово-часової зміни основної фізичної величини – температури. Вплив теплового випромінювання на деревостан відбувається при пожежах при висоті вогню 2–3 метри. У цьому випадку максимальний тепловий потік спрямований по горизонталі до деревостану і вражає крони хвойного підросту, спалюючи хвою, або переріваючи хвою і бруньки, що призводить до загибелі молодих дерев. Дерев старшого віку отримують тільки опіки, що не призводить до їх загибелі, але знижується сортність деревини. У залежності від виду пожежі та її інтенсивності конвекційний тепловий потік відрізняється як за температурою, так і за тривалістю впливу на крону. Залежно від цих параметрів відбувається або опік усієї крони (бруньок, хвої), що призводить до загибелі дерева, або крона буде пошкоджена частково і залишиться життєздатною. Побудовано модель залежності температури на поверхні стовбура дерева від висоти пожежі і часу впливу пірогенного фактору. Встановлено, що навіть при низових пожежах щільність теплового потоку ближче 2 м від полум'я перевищує 12 кВт/м<sup>2</sup>, такий рівень випромінювання заподіює опік моментально.

**Висновки.** Розроблено модель для прогнозу теплового випромінювання від вогню, що діє на стовбури дерев на різній відстані від кромки пожежі. Отримані результати дають можливість спрогнозувати післяпожежний стан деревостанів. Пошкодження стовбурів деревостанів і їх загибель при пожежах залежить також від товщини кори і часу впливу високих температур, а також від діаметра стовбура.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** лісові пожежі, теплове випромінювання, інтенсивність горіння, температура полум'я

Buts Y. V.<sup>1</sup>, Krainyuk O. V.<sup>2</sup>, Nekos A. N.<sup>3</sup>, Barbachyn V. V.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics

<sup>2</sup>Kharkov National Automobile and Highway University

<sup>3</sup>V. N. Karazin Kharkiv National University

<sup>4</sup>Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

## PYROGENIC INFLUENCE ON PINE STANDS IN THE CONDITIONS OF TECHNOGENIC AND ENVIRONMENTAL LOAD

© Буц Ю. В., Крайнюк О. В., Некос А. Н., 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/)

**Purpose.** To develop a model of the effect of temperature on the tree trunk, depending on the duration of its impact, the distance from the edge of the fire and the height of the fire.

**Methods.** Mathematical modeling.

**Results.** The analytical study of thermal conductivity is reduced to the study of the space-time change of the basic physical quantity - temperature. The effect of thermal radiation on the stand is fires at a fire height of 2-3 meters. In this case, the maximum heat flow is directed horizontally to the stand and affects the crowns of coniferous undergrowth, burning needles, or overheating needles and buds, which leads to the death of young trees. Older trees receive only burns, which does not lead to their death, but reduces the quality of wood. Depending on the type of fire and its intensity, the convection heat flux differs in temperature and duration of exposure to the crown. Depending on these parameters, either the entire crown (buds, leaves, needles) burns, resulting in tree death, or the crown will be partially damaged and remain viable. The model of temperature dependence on the surface of the tree trunk on the height of the fire and the time of exposure of the pyrogenic factor is constructed. It is established that even in the case of grassroots fires, the heat flux density closer than 2 m from the flame exceeds  $12 \text{ kW/m}^2$ , such a level of radiation causes burns immediately.

**Conclusions.** A model has been developed for the prediction of heat radiation from fire acting on tree trunks at different distances from the edge of the fire. The obtained results make it possible to predict the post-fire condition of stands. Damage to tree trunks and their death in fires also depends on the thickness of the bark and the time of exposure to high temperatures, as well as the diameter of the trunk.

**KEYWORDS:** forest fire, thermal radiation, combustion rate, flame temperature

Буц Ю. В.<sup>1</sup>, Крайнюк Е. В.<sup>2</sup>, Некос А. Н.<sup>3</sup>, Барбашин В. В.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Харьковский национальный экономический университет имени Семена Кузнеця

<sup>2</sup>Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

<sup>3</sup>Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина

<sup>4</sup>Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова

#### **ПИРОГЕННОЕ ВЛИЯНИЕ НА ХВОЙНЫЕ ДРЕВОСТОИ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ**

**Цель.** Разработка модели влияния температуры на ствол дерева в зависимости от длительности воздействия, расстояния от кромки пожара, от высоты пожара.

**Методы.** Математическое моделирование.

**Результаты.** Аналитическое исследование теплопроводности сведено к изучению пространственно-временного изменения основной физической величины – температуры. Влияние теплового излучения на древостой происходит при пожарах при высоте огня 2-3 метра. В этом случае максимальный тепловой поток направлен по горизонтали до древостоя и поражает кроны хвойного подроста, сжигая хвою, или перегревая хвою и почки, что приводит к гибели молодых деревьев. Деревья старшего возраста получают только ожоги, что не приводит к их гибели, но снижается сортность древесины. В зависимости от вида пожара и его интенсивности конвекционный тепловой поток отличается как по температуре, так и по продолжительности воздействия на крону. В зависимости от этих параметров происходит или ожог всей кроны (почки, хвой), что приводит к гибели дерева, или крона будет повреждена частично и останется жизнеспособной. Построена модель зависимости температуры на поверхности ствола дерева от высоты пожара и времени воздействия пирогенного фактора. Установлено, что даже при низовых пожарах плотность теплового потока ближе 2 м от пламени превышает  $12 \text{ кВт/м}^2$ , такой уровень излучения причиняет ожог моментально.

**Выводы.** Разработана модель для прогноза теплового излучения от огня, действующего на стволы деревьев на разном расстоянии от кромки пожара. Полученные результаты дают возможность спрогнозировать состояние древостоев после пожара. Повреждения стволов древостоев и их гибель при пожарах зависит от толщины коры и времени воздействия высоких температур, а также от диаметра ствола.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** лесные пожары, тепловое излучение, интенсивность горения, температура пламени

#### **Вступ**

Вплив високих температур створених пірогенним чинником на лісові древостани не лише викликає їх істотне пошкодження, а й веде до загибелі рослин [1, 2, 3]. Вивчення пожежної небезпеки не повинно обмежуватися тільки прогнозною оцінкою [4], важливим також вважаємо оцінку збитку

заподіяного лісовою пожежею [5]. Отримано розрахунки результатів прогностичного моделювання постпірогенних міграційних геохімічних процесів в екогеосистемах [6, 7].

Щорічно природними пожежами знищуються або пошкоджуються тисячі гектарів лісового древостану. Суттєвим є

питання вивчення стійкості різних деревних порід до пірогенного впливу. Низові пожежі ушкоджують кору і камбій, що може викликати загибель дерева. Пошкодження деревостанів залежить від товщини кори, діаметру стовбура, особливостей виду, тощо. Пошкоджені вогнем дерева ослаблені і схильні до дії шкідників [1, 8, 9].

Найбільше під час пожежі пошкоджуються прикамбіальні тканини стовбурів, однак навіть при інтенсивному горінні вони можуть прогріватися і пошкоджуватися по-різному і не завжди призводять до загибелі дерева [10]. Для рослинних клітин небезпечним є не лише короточасний вплив летальних температур, що обумовлюють миттєву коагуляцію білка, але і тривала дія так званих сублетальних температур, що викликають порушення обміну речовин і фізіологічне ослаблення дерев [11, 12]. При підвищенні температури лубу і камбіальної зони спостерігається загибель частини клітин, що призводить до порушення їх упорядкованого розташування [13].

Особливості росту деревостанів після

пірогенного впливу вивчалися у роботі [14, 15]. Суттєва увага, при цьому, приділяється ксилемній частині, оскільки деревина являє собою господарську цінну частину дерева. Пошкодження кори розглядається менше, хоча саме ця тканина отримує первинний термічний шок.

Ряд наукових робіт [16, 17] присвячений вивченню впливу теплових потоків пожежі на життєдіяльність деревостанів. Вони містять мало даних про температури нагріву, які можуть витримати тканини стовбура, хвоя, пагони, а також коріння. Але ці дані мають першорядне значення для прогнозування ступеню пошкодження вегетативних органів деревостанів при лісових пожежах, що свідчить про актуальність досліджень, які спрямовані на виявлення стійкості хвойного деревостану до впливу лісових пожеж.

**Мета.** Розробка моделі впливу температури на стовбур дерева у залежності від тривалості впливу, відстані від кромки пожежі, від висоти пожежі.

### Об'єкти і методи досліджень

У Харківському регіоні одним з об'єктів лісового господарства є «ДП Жовтневий лісгосп» Харківського обласного управління лісового і мисливського господарства, що знаходиться поблизу міста Харкова. За останні роки площа пожеж на території даного лісгоспу постійно зростає і сягає до 30 га щорічно. Тому об'єктом дослідження визначено частину борової тераси р. Уди в межах території «ДП Жовтневий лісгосп».

Досліджувана ділянка зазнала впливу пірогенного чиннику: стовбури сосен віком близько 20 років обгоріли до висоти 2-3 м. Ділянка являє собою територію слабо нахиленої фації з сірими лісовими опідзоленими ґрунтами під сосновим бором з сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) та з переважаючим домінуванням злакової рослинності (*Gramineae*).

Будь-яке фізичне явище, у тому числі і процес теплопередачі, відбувається у просторі і часі. Тому аналітичне дослідження теплопровідності зводиться до вивчення просторово-часової зміни основної фізичної величини – температури, характерної для

даного явища, тобто до знаходження залежності:

$$T = f(x, y, z, t) \quad (1)$$

де  $x, y, z$  – просторові координати у декартовій системі,  $t$  – час.

Під нестационарним температурним полем розуміють таке поле, температура якого змінюється не лише у просторі, але і з плином часу, або, як образно кажуть, «температура є функція простору і часу». Рівняння (1) є математичним записом нестационарного температурного поля.

Для спрощення будемо розглядати рух конвективних потоків у напрямку руху вітру, тобто досліджуємо найбільш небезпечну ситуацію руху фронту пожежі. Таким чином розглядається одновимірне поле:

$$T = f(x, t), \quad \frac{dT}{dy} = \frac{dT}{dz} = 0 \quad (2)$$

Диференціальне рівняння теплопровідності для одновимірного потоку матиме вигляд:

$$c \cdot \gamma \frac{dT}{dt} = \lambda \frac{d^2T}{dx^2} \quad \text{або} \quad \frac{dT}{dt} = a \frac{d^2T}{dx^2} \quad (3)$$

де  $T$ ,  $\gamma$ ,  $c$ ,  $\lambda$  – температура, щільність, теплоємність і теплопровідність, відповідно;  $t$  – часова координата.

Тепловий потік від фронту лісової пожежі:

$$q_x = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad (4)$$

Температура у будь-якій точці від джерела вогню буде залежити від координат  $x$  і  $y$ . При рівномірному нагріванні стовбура дерева у будь-якій точці, що знаходиться на відстані  $r$  від полум'я, температура у даний момент часу буде однакова. Отже, ізотермічні поверхні будуть являти собою циліндричні поверхні, коаксіально розташовані до поверхні циліндра. Між радіальною координатою  $r$  (радіус-вектор) і координатами  $x$  і  $y$  існує зв'язок:

$$r^2 = x^2 + y^2 \quad (5)$$

Тоді диференціальне рівняння теплопровідності є:

$$\frac{dT}{dt} = a \left( \frac{d^2T}{dx^2} + \frac{d^2T}{dy^2} \right) \quad (6)$$

можна перетворити так:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{dT}{dr} \frac{dr}{dx} = \frac{dT}{dr} \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} = \frac{dT}{dr} \frac{x}{r} \quad (7)$$

$$\frac{dT}{dy} = \frac{dT}{dr} \frac{dr}{dy} = \frac{dT}{dr} \frac{y}{r} \quad (8)$$

Диференціюючи (7) за  $x$  а (8) за  $y$  отримуємо:

$$\frac{d^2T}{dx^2} = \frac{d^2T}{dr^2} \cdot \frac{x^2}{r^2} + \frac{dT}{dr} \cdot \frac{y^2}{r^3} \quad (9)$$

$$\frac{d^2T}{dy^2} = \frac{d^2T}{dr^2} \cdot \frac{y^2}{r^2} + \frac{dT}{dr} \cdot \frac{x^2}{r^3} \quad (10)$$

Складаючи рівняння (9) і (10) отримаємо для рівняння теплопровідності наступний вираз:

$$\frac{dT}{dt} = a \left( \frac{d^2T}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dT}{dr} \right) \quad (11)$$

Представлена задача вирішена методом кінцевих різниць. Для вирішення кінцево-різницевого аналогів одновимірних рівнянь використаний метод прогонки.

Залежність щільності променистого теплового потоку від фронту лісової пожежі описується за формулою:

$$q = 326.37e^{-0.2791x} \quad (12)$$

де:  $x$  – відстань до кромки пожежі, м;  $q$  – щільність теплового випромінювання, кВт/м<sup>2</sup>.

Використавши дану залежність, спрогнозуємо теплове випромінювання від вогню, що діє на стовбури дерев на різній відстані від кромки пожежі (рис. 1).

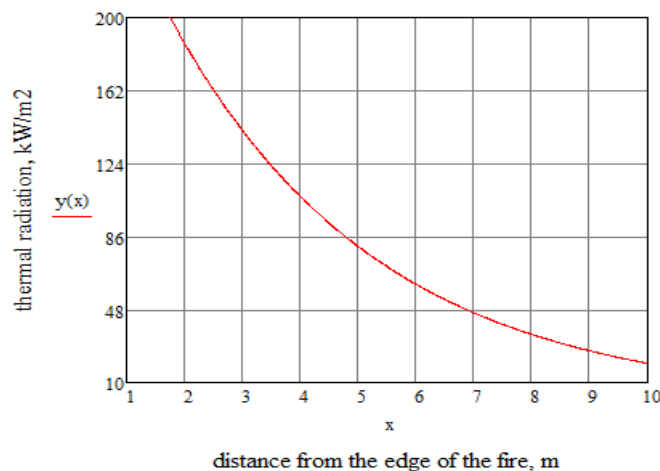


Рис. 1 – Розрахунок залежності щільності променистого теплового потоку від фронту лісової пожежі

## Результати та обговорення

## Математична модель впливу пірогенного чинника на хвойні деревостани

Розрахунок можливої температури на поверхні стовбура дерева виконано за формулою (12) [18] та результати згруповано у таблиці 1:

$$T_1 = T_0 + \frac{q \cdot t}{A} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{\pi \cdot \lambda \cdot c \cdot \gamma \cdot t}{4}}} \quad (13)$$

де:  $T_1$  – температура на поверхні стовбура, °С;

$T_0$  – початкова температура, °С;

$q$  – щільність теплового випромінювання, кВт/м<sup>2</sup>;

$t$  – час дії термічного чинника, с;

$A$  – коефіцієнт поглинання;

$\gamma$  – щільність, кг/м<sup>3</sup>;

$\lambda$  – теплопровідність Вт/(м·К);

$c$  – питома теплоємність, кДж/(кг·К).

Таблиця 1

Результати розрахунку теплового випромінювання і температури нагріву стовбура дерева при пірогенному впливі в залежності від тривалості його дії

Параметри	Відстань від кромки пожежі до стовбура дерева, м							
	3	4	5	6	7	8	9	10
Теплове випромінювання, кВт/м <sup>2</sup>	141	106	80	61	46	34	26	20
Температура при $t$ – часу впливу пірогенного чинника, с:								
$t=10$	275	212	166	131	104	85	70	59
$t=30$	457	349	267	207	161	127	102	83
$t=60$	635	482	367	281	217	169	133	106

Істотний вплив теплового випромінювання на деревостани в основному відбувається при пожежах, коли полум'я прямовисне і досягає висоти 2–3 метри. У цьому випадку максимальний тепловий потік спрямований по горизонталі до деревостану і вражає крони хвойного підросту, спляючі хвою, або перегріваючі хвою і пагони, що також призводить до загибелі молодих дерев. У той же час, деревостани старшого віку отримують лише опіки, що не призводить до їх загибелі, але знижується їх життєздатність та сортність деревини. З розрахунків видно, що впродовж впливу пірогенного чинника 60 с на відстані всього 3 метрів при конвективних потоках спрямованих у бік деревостану температура може досягати понад 550°С (рис. 2). Таким чином, можна спрогнозувати можливу температуру, що впливає на дерева у залежності від відстані до джерела вогню та часу впливу. Очевидно, що при такій температурі при підвищеній вологості якщо і не відбудеться загоряння, то пагони, звичайно ж, втраять свою життєздатність.

У залежності від виду пожежі та її інтенсивності конвекційний тепловий потік

відрізняється як за температурою, так і за тривалістю впливу на крону. Залежно від цих параметрів відбувається або опік усієї крони (пагонів, листя, хвої), що призводить до загибелі дерева, або крона буде пошкоджена частково і залишиться життєздатною.

Більш наглядно дану модель впливу пірогенного чинника на дерева відображає тривимірна модель (рис. 3). Але слід зазначити, що для визначення щільності теплового потоку була використана залежність (12). Яка справедлива при висоті пожежі 2–2,5 м. При більш низьких пожежах, звичайно ж, теплове випромінювання буде меншим.

Тепловий потік від полум'я 2–3 м створює на поверхні стовбурів температуру близько 500-600°С і в цьому випадку дерева діаметром від 16 см і більше отримують опік камбіальної зони. Деревя меншого діаметру, які отримують кругового опіку по діаметру стовбура при такій температурі гинуть. Отримані нами розрахункові дані добре узгоджуються з експериментальними даними Валендіка Е. Н. і Косова І. В. [19].

Спрогнозуємо вплив температурного фактору на стовбури дерев при іншій висоті пожежі. Щільність теплового потоку під-

дається наступній у залежності від висоти пожежі [19]:

$$q = 16,638x + 29,772 \quad (14)$$

де  $x$  – висота пожежі, м;  $q$  – щільність теплового випромінювання, кВт/м<sup>2</sup>.

Наприклад, при висоті пожежі 1,5 м на стовбурі дерев температура може дося-

гати 300<sup>0</sup>С вже через 60 с впливу пірогенного чинника (табл. 2., рис. 4). Оскільки у залежності (14) також є обмеження: вона враховує різну висоту полум'я, але більш справедлива для відстані від кромки пожежі біля 4 метрів, то у залежності від умов слід вибирати ту або іншу прогнозу модель.

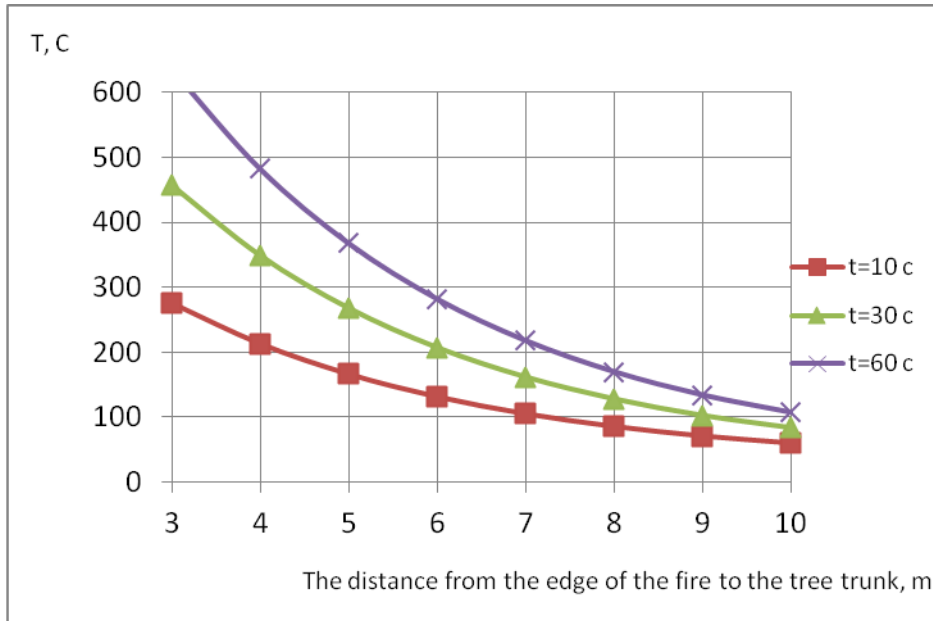


Рис. 2 – Розрахунок нагріву поверхні стовбура дерева від теплового випромінювання у залежності від відстані до кромки пожежі при різному часі впливу

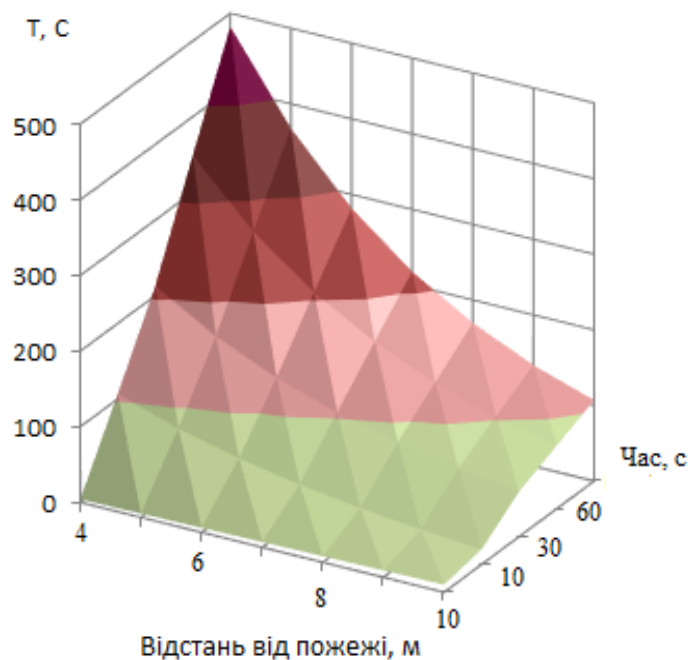
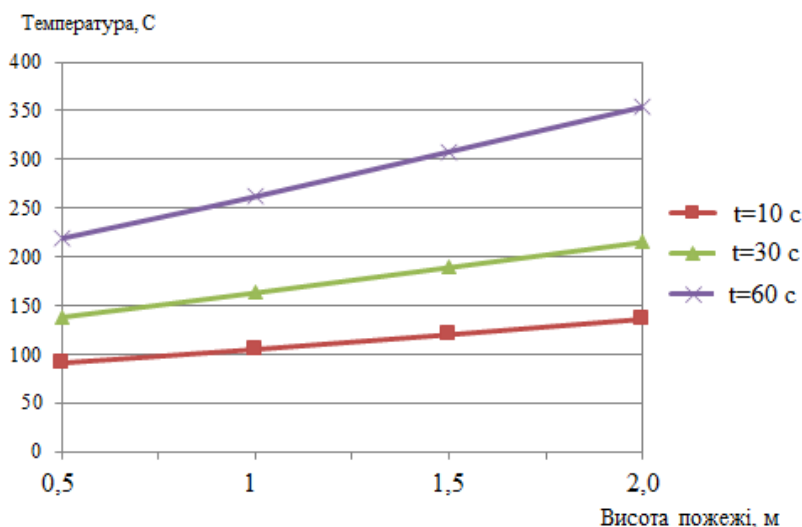


Рис. 3 – Тривимірна модель нагріву стовбура дерева під пірогенним впливом у залежності від часу дії і відстані до кромки пожежі при висоті пожежі близько 2 м





**Рис. 4** – Розрахунок нагріву поверхні стовбура дерева від теплового випромінювання у залежності від висоти полум'я при відстані від кромки пожежі близько 4 м

У таблиці 2 наведені розрахунки теплового потоку і температури на поверхні стовбура дерева у залежності від висоти полум'я і часу термічної дії. Більш показовим є тривимірна модель (рис. 5).

Встановлено, що навіть при низових пожежах з висотою полум'я 0,5–1 м щільність теплового потоку ближче 2 м від полум'я перевищує  $12 \text{ кВт/м}^2$ . Рівень випромінювання в  $12 \text{ кВт/м}^2$  заподіює опік миттєво [20].

З таблиці 2 випливає, що вже при висоті полум'я 0,5 м у деревостанів на відстані 4 м від пожежі, температура на поверхні кори дерева може досягати  $138^\circ\text{C}$  при тривалості впливу 30 с. При такій температурі пагони гинуть у кроні хвойних дерев. Тепловий потік від полум'я заввишки 2 м створює на поверхні стовбурів температуру понад  $450^\circ\text{C}$  і в цьому випадку дерева діамет-

ром від 16 см і більше отримують опік камбіальної зони. Дерев меншого діаметру, які отримують кругового опіку по діаметру стовбура при такій температурі гинуть [21].

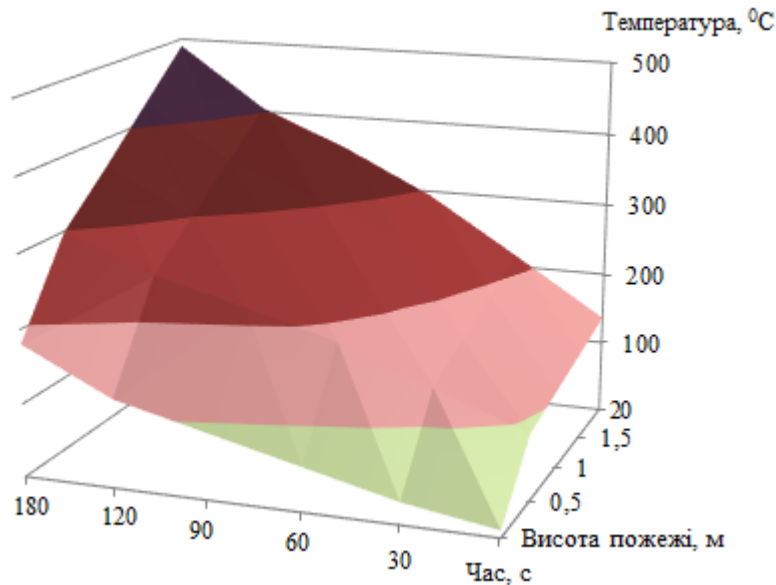
Як показує практичний досвід, у десятках метрів по периметру території, що зазнала впливу пожежі, протягом 2–3 років, відмирає більшість дерев пошкоджених вогнем, які зберегли у перший рік зелену крону. Це призводить не лише до додаткових витрат (обстеження, рубки), а й до суттєвих втрат від не отриманої вигоди за рахунок зниження товарності деревини [22].

При пожежі у деревині деревостанів високий вміст вологи (у сосні близько 80%) і при високій температурі відбувається пропарювання, що викликає гідролітичну деградацію деревного комплексу. При цьому частково руйнуються зв'язки в самому лігніні з геміцелюлозами, що призводить до

**Таблиця 2**

**Результати розрахунку теплового випромінювання і температури нагрівання стовбура дерева при пірогенному впливі на відстані 4 м в залежності від висоти полум'я та часу дії пожежі**

Висота пожежі, м	Теплове випромінювання, $\text{кВт/м}^2$	Час впливу пірогенного чинника на стовбур дерева					
		10	30	60	90	120	180
0,5	38	91	138	184	219	249	298
1	46	105	163	220	262	299	360
1,5	54	120	189	257	308	352	425
2	63	136	215	293	354	404	489



**Рис. 5** – Тривимірний графік нагрівання стовбура дерева під впливом пірогенного чинника у залежності від часу дії і висоти пожежі на відстані 4 м

збільшення деформованості клітинних стінок. При пропарюванні відбувається часткове руйнування водневих зв'язків і хімічні зміни деревинної речовини, обумовлені термогідролітичною деструкцією. При цьому частина геміцелюлози і пектинових речовин переходять у розчин. У результаті цього речовини, що є складовими деревини, розм'якшуються, і деревина стає більш деформованою [23].

Вплив вогню послаблює захисні функції кори дерева, що є «чудою» передую-

мою для інтенсивного ураження дерева руйнівними грибами і личинками комах. Наявність грибниці на пострігоєній території на значній площі лісової підстилки на кореневій і прикореневій частині стовбура сосни, а у дерев листяних порід по всій висоті стовбура буде різко знижувати якість деревини. Причиною можливого зниження є сприятливі умови для інтенсивного розвитку різних грибів і ураження деревостанів комахами [22].

### Висновки

Отримані результати дають можливість прогнозувати післяпожежний стан деревостанів. Подальші дослідження теплового випромінювання при пожежах різного виду є актуальними, оскільки дають можливість передбачити вплив на інші компоненти екосистеми. Бруньки та пагони можуть гинути вже при температурі теплового потоку 60°C за 120-180 секунд. За розрахунками така температура може бути досягнута на відстані лише 4 метри від кромки

полум'я при низовій пожежі.

Для оцінки і прогнозування післяпожежної загибелі дерев при пошкодженні крон необхідно знати не лише теплові параметри пожежі, а й ступінь витривалості вегетативних органів крони до термічного впливу. Пошкодження стовбурів деревостанів і їх загибель при пожежах залежить також від товщини кори і часу впливу високих температур, а також від діаметра стовбура.

### 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. Asotskiy 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. *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*. 2018. Vol. 27. No P. 175-183. URL: <https://doi.org/10.15421/111843>
2. Laurance W. F., Delamonica P., Laurance S. G., Vasconcelos H., Lovejoy T. E. Rainforest fragmentation kills big trees *Nature*. 2000. Vol. 404. No 6780. P. 836. <https://doi.org/10.1038/35009032>
3. Mesquita R. C. G., Delamonica P., Laurance W. F. Effect of surrounding vegetation on edge-related tree mortality in Amazonian forest fragments. *Biological Conservation*. 1999. Vol. 91. No 2-3. P. 129-134. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(99\)00086-5](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(99)00086-5)
4. Yankovich E. P., Baranovskiy N. V., Yankovich K. S. ArcGIS for assessment and display of the probability of forest fire danger *9th International Forum on Strategic Technology, IFOST*, 2014, P. 222-225.
5. Барановский Н. В., Андреева К. Математическое моделирование теплового воздействия от фронта лесного пожара на ствол хвойного дерева. *Cloud of Science*, 2015. Т. 2. № 4. С. 591-598.
6. Buts Yu. V. Features of geochemical migration of chemical elements after technogenic loading of pyrogenic nature. *Journal of Engineering Sciences*. Sumy: Sumy State University, 2018. Vol. 5. No 2, P. H1-H4.
7. Buts Y., Asotskiy V., Krainiuk O., Ponomarenko R. Dynamics of migration capacity of some trace metals in soils in the Kharkiv region under the pyrogenic factor. *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*. 2019. Vol. 28. No 3. P. 409-416. URL: <https://doi.org/10.15421/111938>
8. Buts, Y., Asotskiy, V., Kraynyuk, O., Ponomarenko, R. Influence of technogenic loading of pyrogenic origin on the geochemical migration of heavy metals. *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*. 2018. Vol. 27. No 1. P. 43-50. URL: <https://doi.org/10.15421/111829>
9. Буц Ю.В., Крайнюк Е.В. Динамика геохимической миграционной способности химических элементов под влиянием техногенной нагрузки пирогенного происхождения *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии*. 2018. Вип. 80. С. 223-234.
10. Фуряев Е.А. Пирозкологические свойства сосны обыкновенной в средней Сибири. *Хвойные бореальной зоны*. 2008, Т. 25. № 1 – 2. С.103-108.
11. Michaletz S. T., Johnsona E. A. A biophysical process model of tree mortality in surface fires *Canadian Journal of Forest Research*, 2008, 38(7): 2013-2029, URL: <https://doi.org/10.1139/X08-024>
12. Michaletz, S.T., Johnson, E.A. & Tyree, M.T. Moving beyond the cambium necrosis hypothesis of post-fire tree mortality: cavitation and deformation of xylem in forest fires. *New Phytologist*, 2012, 194, 254–263. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.04021.x>
13. Dickinson M.B., Johnson E.A. Temperature-dependent rate models of vascular cambium cell mortality. *Can. J. For. Res.*, 2004, 34: 546–559. URL: <https://doi.org/10.1139/x03-223>
14. Sutherland, E.K.; Smith, K.T. Resistance is not futile: the response of hardwoods to fire-caused wounding. *Proceedings of the workshop on fire, people, and the central hardwood landscape. Gen. Tech. Rep.*, 2000, NE-274.
15. Буц Ю. Систематизація процесів пирогенної релаксії екогеосистем в умовах техногенного навантаження. *Екологічна безпека*. 2018. № 1(25). С. 7-12. URL: <https://doi.org/10.30929/2073-5057.2018.1.7-12>
16. Brose, P.H.; Van Lear, D.H. Survival of hardwood regeneration during prescribed fires: the importance of root development and root collar location. *Upland oak ecology symposium: history, current conditions, and sustainability. Gen. Tech. Rep. SRS-73*. Asheville, 2004. P.123-127.
17. Green S.R., Arthur M.A., Blankenship B.A. Oak and red maple seedling survival and growth following periodic prescribed fire on xeric ridgetops on the Cumberland Plateau. *Forest Ecology and Management*. 2010. Vol. 259. N 12. P. 2256-2266. URL: <https://www.sciencedirect.com/journal/forest-ecology-and-management/vol/259/issue/12>
18. Лыков А. В. Теория теплопроводности. 1980. 600с.
19. Валендик Э.Н., Косов И.В. Влияние теплового излучения лесного пожара на окружающую среду *Сибирский экологический журнал*. 2008. Вип. 4. С. 517-523.
20. Cohen, J.D. Relating Flame radiation to home ignition using modeling and experimental crown fires *Canadian Journal of Forest Research*. 2004. Vol. 34. N 8. P. 1616-1626. URL: <https://doi.org/10.1139/x04-049>
21. Van Wagner C. E. Fire behaviour mechanisms in a Red Pine Plantation: field and laboratory evidence, Forestry branch departmental publication *Queen's printer and controller of stationary*. 1968. 1229. 30.
22. Буц Ю.В. Науково-методологічні основи релаксії екогеосистем при техногенному навантаженні пирогенного походження. Дисс... докт. техн. наук 21.06.01 – екологічна безпека. Суми: Сумський державний університет. 399 с. URL: <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/76266>
23. Kuznetsov G. V., Baranovsky N. V. Mathematical simulation of heat transfer at coniferous tree ignition by cloud-to-ground lightning discharge (01028) . *EPJ Web of Conferences*. 2014. Vol. 76. P. 1-6. URL: <https://doi.org/10.1051/epjconf/20147601028>

## References

1. Asotskiy, 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>
2. Laurance, W. F., Delamonica, P., Laurance S. G., Vasconcelos, H. & Lovejoy, T. E. (2000). Rainforest fragmentation kills big trees. *Nature*, 404(6780), 836. <https://doi.org/10.1038/35009032>
3. Mesquita, R. C. G., Delamonica, P. & Laurance, W. F. (1999). Effect of surrounding vegetation on edge-related tree mortality in Amazonian forest fragments. *Biological Conservation*, 91 (2-3), 129-134. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(99\)00086-5](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(99)00086-5)
4. Yankovich, E. P., Baranovskiy, N. V. & Yankovich, K. S. (2014). ArcGIS for assessment and display of the probability of forest fire danger. *Proceedings of the 9th International Forum on Strategic Technology, IFOST*, 6991108, 222-225.
5. Baranovsky, N. V. & Andreeva, K. (2015). Mathematical modeling of heat exposure from the front of a forest fire to a coniferous tree trunk. *Cloud of Science*, 2(4), 591-598 (in Russian).
6. Buts, Yu. V. (2018). Features of geochemical migration of chemical elements after technogenic loading of pyrogenic nature. *Journal of Engineering Sciences*, 5(2), H1-H4.
7. Buts, Y., Asotskiy, V., Krainiuk, 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>
8. Buts, Y., Asotskiy, V., Kraynyuk, O. & Ponomarenko, R. (2018). Influence of technogenic loading of pyrogenic origin on the geochemical migration of heavy metals. *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*, 27(1), 43-50. <https://doi.org/10.15421/111829>
9. Buts, Y. & Kraynyuk, O. (2018). Dynamics of geochemical migration ability of chemical elements under the influence of technogenic loading of pyrogenic origin. *Open Information and Computer Integrated Technologies: Scientific Bulletin of the National Aerospace University*, 80, 223-234 (in Russian).
10. Furyaev, V. V. & Furyaev, E. A. (2008). Piroecological properties of pine oriental in medium Siberia. *Coniferous boreal zone*, 25(1-2), 103-108 (in Russian).
11. Michaletz S. T. & Johnson, E. A. (2008). A biophysical process model of tree mortality in surface fires. *Canadian Journal of Forest Research*, 38(7), 2013-2029. <https://doi.org/10.1139/X08-024>
12. Michaletz, S. T., Johnson, E. A. & Tyree, M. T. (2012). Moving beyond the cambium necrosis hypothesis of post-fire tree mortality: cavitation and deformation of xylem in forest fires. *New Phytologist*, 194 (1), 254-263. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.04021.x>
13. Dickinson, M. B. & Johnson, E. A. (2004). Temperature-dependent rate models of vascular cambium cell mortality. *Canadian Journal of Forest Research*, 34(3), 546-559. <https://doi.org/10.1139/x03-223>
14. Sutherland, E. K. & Smith, K. T. (2000). Resistance is not futile: the response of hardwoods to fire-caused wounding. *Proceedings of the workshop on fire, people, and the central hardwood landscape. Gen. Tech. Rep. NE-274*.
15. 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).
16. Brose, P. H. & Van Lear, D. H. (2004). Survival of hardwood regeneration during prescribed fires: the importance of root development and root collar location. *Upland oak ecology symposium: history, current conditions, and sustainability. Gen. Tech. Rep. SRS-73. Asheville*, 123-127.
17. Green, S. R., Arthur, M. A. & Blankenship, B. A. (2010). Oak and red maple seedling survival and growth following periodic prescribed fire on xeric ridgetops on the Cumberland Plateau. *Forest Ecology and Management*, 259 (12), 2256-2266. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/journal/forest-ecology-and-management/vol/259/issue/12>
18. Lyikov, A. V. (1980). *Heat conduction theory*, Moscow: Energiya. (in Russian).
19. Valendik, E. N. & Kosov, I. V. (2008). Impact of thermal radiation of a forest fire on the environment. *Siberian Journal of Ecology*, (4), 517-523 (in Russian).
20. Cohen, J. D. (2004). Relating Flame radiation to home ignition using modeling and experimental crown fires. *Canadian Journal of Forest Research*, 34 (8), 1616-1626. <https://doi.org/10.1139/x04-049>
21. Van Wagner, C. E. (1968). Fire behaviour mechanisms in a Red Pine Plantation: field and laboratory evidence, Forestry branch departmental publication. *Queen's printer and controller of stationary*, 1229, 30.
22. Buts, Yu. (2020). Scientific and methodological bases of relaxation of ecosystems under technogenic loading of pyrogenic origin. (Master's thesis). Sumy: Sumy State University. Retrieved from <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/76266> (in Ukraine).
23. Kuznetsov, G. V., & Baranovskiy, N. V. (2014). Mathematical simulation of heat transfer at coniferous tree ignition by cloud-to-ground lightning discharge. In *EPJ Web of Conferences* (Vol. 76). [01028] EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/epjconf/20147601028>

Надійшла до редколегії 09.03.2020

Прийнята 15.04.2020

УДК (UDC) 66.084+541.182; 628.1; 658.265

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-22-07>

**І. З. КОВАЛЬ**, канд. техн. наук, доц.  
Національний університет «Львівська політехніка»  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

e-mail: [irynazk@gmail.com](mailto:irynazk@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8154-4154>

## ВПЛИВ КИСНЮ ТА ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ НА ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД БАКТЕРІЙ ТА ДРІЖДЖІВ В КАВІТАЦІЙНИХ УМОВАХ

**Мета.** Дослідити процес очищення води з вмістом бактерії роду *Bacillus cereus* та дріжджів роду *Saccharomyces cerevisiae* в умовах кавітації та атмосфері газів різної природи (кисню та вуглекислого газу). Оцінити та порівняти ефективність руйнування бактеріальних клітин з дріжджовими, а також визначити ефективну природу газу під час кавітаційної обробки водної системи.

**Методи.** Досліджувані модельні середовища озвучувались дією ультразвукового генератора (УЗДН-2Т) з частотою 22 кГц, потужністю 35 Вт. Газовими бульбашками слугували кисень і вуглекислий газ як додаткові зародки кавітації. Кількість мікроорганізмів до і після озвучування визначалась шляхом підрахунку колоній, які виростили на поживному середовищі в чашці Петрі і виражалась в колоній-утворюючих одиницях (КУО).

**Результати.** Представлені результати морфологічних ознак бактерій і дріжджів, а також знімки клітин за результатами мікроскопічних досліджень при відповідному збільшенні, характерному для конкретного роду мікроорганізмів. Обчислені ступені руйнування мікроорганізмів, виражених у відсотках. За результатами досліджень руйнуванню швидше піддавались бактерії роду *Bacillus cereus*, порівняно з дріжджами роду *Saccharomyces cerevisiae* в умовах одночасної дії газу та кавітації. Резистентність дріжджових клітин МО пояснюється результатом специфічного впливу кавітації на клітинну стінку дріжджів та їх міжгенетичної різниці в структурах стінки клітин. Експериментально показано більшу ефективність дії кисню в процесах кавітаційної обробки як бактерій, так і дріжджів, порівняно з дією вуглекислого газу.

**Висновки.** Відзначено активніше руйнування бактеріальних клітин, порівняно з дріжджовими в умовах газ/кавітація. Досліджено, що кисень в кавітаційних умовах описується більшою величиною ступеня руйнування мікроорганізмів, що пояснюється природою дії самого газу в умовах експерименту. Показано, що ефективність очищення води від мікроорганізмів залежить від природи барботованого газу в кавітаційних умовах.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** кавітація, знезараження води, бактерії, дріжджі, кисень, вуглекислий газ

**Koval I.Z.**

*Lviv Polytechnic National University*

## INFLUENCE OF OXYGEN AND CARBON DIOXIDE ON WATER PURIFICATION FROM BACTERIA AND YEAST UNDER CAVITATION CONDITIONS

**Purpose** is to study the purification process of water polluted by containing *Bacillus cereus* bacteria type and *Saccharomyces cerevisiae* yeast type under cavitation conditions and atmosphere of different gases nature (oxygen and carbon dioxide); to evaluate and to compare the destruction efficiency of bacterial with yeast cells, and to determine the effective gas nature during cavitation treatment of the aqueous system.

**Methods.** The investigated model media were sounded by the action of an ultrasonic generator (UZDN-2T) with a frequency of 22 kHz, with a power of 35 watts. Oxygen and carbon dioxide were gas bubbles as an additional embryos of cavitation. Microorganisms number before and after sonication was determined by counting of the colonies grown on the nutrient medium in a Petri dish and expressed in colony-forming units (CFU).

**Results.** The results of the morphological characteristics of bacteria and yeast, as well as images of cells according to the results of microscopic studies at a corresponding magnification characteristic of a particular

© 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/).



microorganisms types are presented. Degrees of microorganisms destruction, expressed in a percentage, were calculated. According to the results of studies, *Bacillus cereus* bacteria type were more likely to be destroyed, compared with *Saccharomyces cerevisiae* yeast type at the conditions of simultaneous action of gas and cavitation. The resistance of yeast cells is explained by the result of the specific effect of cavitation on the yeast cell wall and their inter-genetic difference in cell wall structures. Higher efficiency of oxygen in the processes of cavitation treatment of both bacteria and yeast, compared to the action of carbon dioxide is shown experimentally.

**Conclusions.** More active destruction of bacterial cells compared to yeast in the gas/cavitation conditions shown that is explained by the age-related signs of the bacteria. It has been investigated that oxygen under cavitation conditions is described by a larger value of the microorganisms destruction, that is explained by the nature of the gas action at the experimental conditions. It is shown that the efficiency of water purification from microorganisms depends on the nature of the gas bubbled under cavitation conditions.

**KEYWORDS:** cavitation, water disinfection, bacteria, yeast, oxygen, carbon dioxide

**Коваль И.З.**

*Национальный университет "Львовская политехника"*

### **ВЛИЯНИЕ КИСЛОРОДА И УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА НА ОЧИСТКУ ВОДЫ ОТ БАКТЕРИЙ И ДРОЖЖЕЙ В КАВИТАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ**

**Цель.** Исследовать процесс очистки воды с содержанием бактерий рода *Bacillus cereus* и дрожжей рода *Saccharomyces cerevisiae* в условиях кавитации и атмосфере газов различной природы (кислорода и углекислого газа). Оценить и сравнить эффективность разрушения бактериальных клеток с дрожжевыми, а также определить эффективную природу газа при кавитационной обработки водной системы.

**Методы.** Озвучивание осуществляли ультразвуковым генератором (УЗДН-2Т) при 22 кГц и 35 Вт с одновременным барботированием кислорода и углекислого газа. Количество микроорганизмов до и после озвучивания определялась подсчетом колоний и выражалась в колонии-образующих единицах (КОЕ).

**Результаты.** Представлены результаты морфологических признаков бактерий и дрожжей, а также снимки клеток по результатам микроскопических исследований при соответствующем увеличении, характерном для конкретного рода микроорганизмов. Вычисленные степени разрушения микроорганизмов, выражены в процентах. По результатам исследований разрушению быстрее подвергались бактерии рода *Bacillus cereus*, по сравнению с дрожжами рода *Saccharomyces cerevisiae* в условиях одновременного действия газа и кавитации. Резистентность дрожжевых клеток МО объясняется результатом специфического воздействия кавитации на клеточную стенку дрожжей и их меж генетической разницы в структурах стенки клеток. Экспериментально показано большую эффективность действия кислорода в процессах кавитационной обработки как бактерий, так и дрожжей по сравнению с действием углекислого газа.

**Выводы.** Отмечено активнее разрушения бактериальных клеток по сравнению с дрожжевыми в условиях газ/кавитация. Действие кислорода в кавитационных условиях описывается большей величиной степени разрушения микроорганизмов. Показано, что эффективность очистки воды от микроорганизмов зависит от природы барботованного газа в кавитационных условиях.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** кавитация, обеззараживания воды, бактерии, дрожжи, кислород, углекислый газ

### **Вступ**

Забруднення поверхневих вод є результатом антропогенної діяльності людини, що пов'язано з прогресивним розвитком промисловості, сільського господарства, транспорту, енергетики тощо. Все це веде до глобального характеру, якого набирає антропогенний вплив на навколишнє середовище. Зараз в нашій країні спостерігаються ускладнення із забезпеченням природними ресурсами внаслідок якісного та кількісного виснаження природних водоймищ, що пов'язано з забрудненням та нерациональним використанням води. Забруднення води здебільшого відбувається внаслідок скиду до неї промислових, побуто-

вих та сільськогосподарських відходів. В деяких водоймищах забруднення води настільки велике, що відбулася повна їх деградація як джерел водопостачання [1]. Забруднюючі речовини змінюють якісний склад води, що в основному виявляється в змінах її фізичних властивостей, зокрема, появі неприємних запахів, присмаків, поява сторонніх речовин на поверхні води з наступним їх відкладанням на дно водойм.

Виробничі стічні води (СВ) забруднені в основному відходами і викидами виробництва. Кількісна і якісна різноманітність забруднювачів залежить від галузі промисловості, її технологічних процесів. Скидан-



ня забруднених виробничих СВ у відкриті водойми веде до зростання концентрації забруднювачів як хімічного, так і біологічного походження. Так, результатом промислової діяльності Кривбасу (без врахування побутових стоків) є щорічне надходження до гідросистеми річки Інгулець понад 120 млн.м<sup>3</sup> неочищених або недостатньо очищених СВ, що складає 45-55% природного середньорічного стоку [2].

Невтішними є результати й мікробіологічних досліджень. Так, санітарно-біологічні дослідження [3] якості СВ міст Лубни, Кременчук, Світловодськ, Кіровоград засвідчують їх низький ступінь очищення після скидання води з очисних споруд у басейн річки Дніпра. Так, в окремих випадках у пробах СВ в містах Лубни та Кременчук виявлено яйця гельмінтів (1-4 екз./дм<sup>3</sup>) та значні величини індексу лактозопозитивних кишкових паличок [3]. Повідомляється [4], що 0,001 см<sup>3</sup> води може містити до 10<sup>9</sup> бактерій. В 1 см<sup>3</sup> стічних і річкових водах їх кількість може досягати декілька мільйонів, а в 1г ґрунту – декілька мільярдів. Об'єм бактеріальної маси при кількості 100 млн. бактерій в 1 см<sup>3</sup> складає 0,04% від об'єму СВ.

Вибір способу очищення води вимагає глибоких досліджень і вивчень різних видів забрудників води, їх концентрації тощо. Забруднення води біологічного походження вважається більш небезпечним від хімічного. Тому, на сьогоднішній день науковці пропонують безліч ефективних методів знезараження води, одним з яких є застосування кавітаційної дії на водну систему. Знайдено багато наукових робіт, присвячених дослідженню дії УЗ кавітації в процесах знезараження води від різних мікроорганізмів (МО): *E. coli* [5, 6], *Staphylococcus aureus* [5], *Microcystis aeruginosa* [7, 8, 9], водорості [10], *Listeria monocytogenes* [6], *Geobacillus* [11], *Anoxybacillus flavi-*

*thermus* [11], *Enterococcus avium* [12] та інші [13-15].

В [5] досліджено інактивацію кишкової палички *E. coli* та золотистого стафілокока *Staphylococcus aureus* в присутності ультразвукової дії:  $3,02 \pm 0,52 \log$  та  $0,18 \pm 0,14 \log$ , відповідно. Інактивацію *Microcystis aeruginosa* як наслідок механічних та хімічних впливів, викликаних ультразвуком [7, 8], засвідчили результати цитометрії клітини (зменшення розмірів, внутрішньої зернистості, цілісності та активності клітин водоростей) [7], систематичний аналіз морфології клітин водоростей з ефективністю видалення водоростей 80-90% [8] та вплив інтенсивності ультразвукової кавітації на структуру мікроорганізмів при дезінфекції СВ [15]. Зниження кількості водоростей на 80% в об'ємі 100 л води досягнуто при частоті ультразвуку 36 кГц та потужності 650 Вт протягом 10 хвилин та на 50-90% при 36-175 кГц (потужність 650 Вт) в об'ємі 4 м<sup>3</sup> тривалістю обробки 60 хв. Використання ультразвукової технології для запобігання утворенню біоплівки в реальних обставинах, що виникають у промислових умовах описано в [13] та надано рекомендації щодо побудови ультразвукових кавітаторів [15], які забезпечують високий рівень інтенсивності ультразвукових коливань у об'ємі рідини.

Однак, експериментальних публікацій щодо руйнування *Bacillus* та *Sacch. cerevisiae* в умовах кавітації при барботуванні кисню та вуглекислого газу практично не знайдено. Тому в представленій роботі пропонується розглянути процес очищення води від забруднень біологічного походження, що полягає в руйнуванні мікроорганізмів (МО) конкретного роду при одночасній дії кавітації та барботованого газу.

### Методика дослідження

Джерелом ультразвукових хвиль слугував УЗДН-2Т генератор з частотою 22 кГц, потужністю 35 Вт. Об'єм досліджуваної дисперсії ( $V = 75 \text{ см}^3$ ) в скляному реакторі охолоджувався водопровідною водою протягом всього процесу. В якості додаткових газових бульбашок застосовані були кисень і вуглекислий газ. Газ барботували у воду впродовж всього процесу кавітаційного її

оброблення зі швидкістю 0,2 см<sup>3</sup>/с. Витрата газу становила 0,7 дм<sup>3</sup>/год.

Для дослідження дії газ/кавітація були використані дві монокультури – бактерії роду *Bacillus* та дріжджі роду *Saccharomyces*. Чисті культури вказаних МО були внесені з дотриманням умов стерильності до води, взятої з відкритої водойми в таких кількостях, щоб максимально наблизитись

до реальної концентрації забруднення вод з відкритих водойм. Вода з відкритої водойми була стерильною, тобто досліджувалась дія газу та кавітації на конкретно взяті клітини мікроорганізмів.

Створювались окремі модельні середовища в результаті додавання до води з відкритої водойми чистих монокультур: бактерій роду *Bacillus cereus* та дріжджів роду *Saccharomyces cerevisiae*. Модельні води створювали з метою наближення за якісним та кількісним складом до реального рівня мікробіологічного забруднення виробничих СВ ( $10^3$ - $10^4$  КУО/см<sup>3</sup>). Створені модельні води піддавались дії кавітації впродовж двох годин ( $t=7200$  с) при  $T=298\pm 1$ К. Підрахунок клітин до і після обробки виражений в колонійутворюючих одиницях (КУО), які вирости на поживному середовищі на чашках Петрі. Підрахунок числа мікроорганізмів

(ЧМ) в 1 см<sup>3</sup> досліджуваної води полягає у визначенні загальної кількості МО, які мають здатність рости на м'ясо-пептонному агарі (МПА) (для бактерій) або сусло-агарі (СА) (для дріжджів) на чашках Петрі при температурі  $35\pm 0,5^\circ\text{C}$  впродовж  $48\pm 2$  год. Далі необхідно підрахувати кількість колоній, що вирости на поживному середовищі. Тому, для швидкого підрахунку загальної кількості колоній (X) визначалось їх число в 1 см<sup>2</sup> (m), з врахуванням площі чашки Петрі:

$$S = \pi r^2, \quad (1)$$

де  $r$  – радіус чашки, тоді:

$$S = m \pi r^2 \quad (2)$$

Експериментальні точки діаграми в нижче представлених експериментальних матеріалах отримані за середньоарифметичними даними трьох-чотирьох паралельних висівів зразків води.

### Результати досліджень

Досліджувані МО відносяться до різних груп: паличкоподібні бактерії та овальні дріжджоподібні грибки (табл. 1). Серед об'єктів досліджуваних МО присутні як прокаріоти, так і еукаріоти, тобто розглядаються різні види мікробіологічних об'єктів.

Для досліджень були використані молоді клітини бактерій, тобто 1-добові бактерії роду *Bacillus cereus*, ще до стадії утворення ендоспор (рис.1а) та дріжджові клітини (рис.1б). Результати морфологічних властивостей і ознак МО представлено в таблиці 2.

Таблиця 1

#### Характеристика мікроорганізмів

Бактерії	
<i>Bacillus cereus</i>	паличкоподібні бактерії; аспорогенні (1-добові); належать до родини <i>Bacillaceae</i>
Дріжджі	
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	хлібопекарські дріжджі; нерухомі; належать до родини <i>Saccharomycetaceae</i>

Таблиця 2

#### Морфологічні особливості мікрооб'єктів

Досліджувані мікрооб'єкти	Морфологічні ознаки		
	Забарвлення за Грамом	Ширина, мкм	Довжина, мкм
<i>Bacillus cereus</i>	Грам +	1,3	3,42
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Грам +	5,17	8,67

Розрахований ступінь руйнування мікроорганізмів ( $D_d$ ) після обробки газу/УЗ, що дорівнює відношенню числа мікроорганізмів (ЧМ) відносно початкового числа мікроорганізмів (ЧМ<sub>0</sub>), вираженого у відсотках (табл. 3). Процеси руйнування бактерій і дріжджів в умовах експериментів представ-

лено на рис. 2 і 3, які дозволяють оцінити і порівняти ефективність руйнування досліджених МО в присутності кисню з вуглекислим газом. Для бактерій та дріжджів при проведенні експериментів використано різні початкові числа мікроорганізмів (ЧМ<sub>0</sub>), однак згідно наших попередніх досліджень

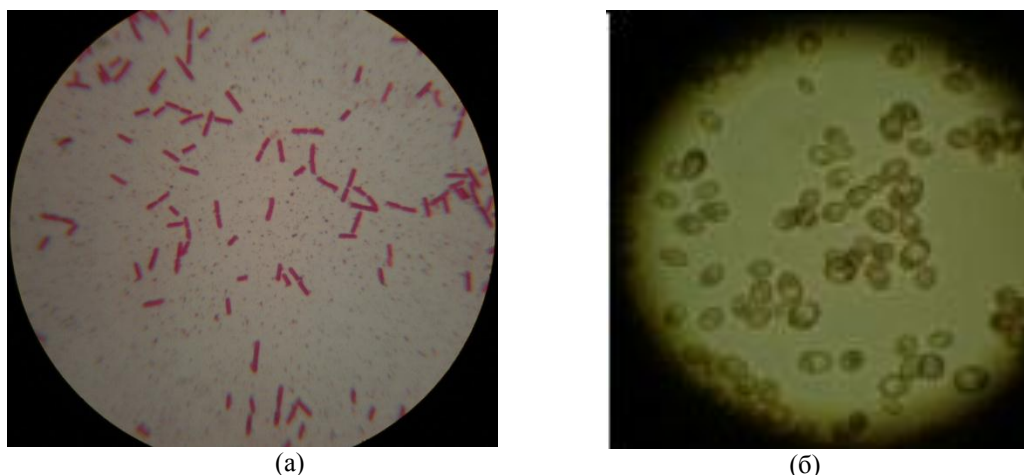


Рис. 1 – Знімки клітин мікроорганізмів при мікроскопічних дослідженнях.  
Збільшення: 1200 (а) та 480 (б)

Таблиця 3

Ступінь руйнування мікроорганізмів

Мікроорганізми	Ступінь руйнування ( $D_d$ ) після $t = 7200$ с, %	
	$O_2/UЗ$	$CO_2/UЗ$
<b>Бактерії</b>		
<i>Bacillus cereus</i>	88,6	82,9
<b>Дріжджі</b>		
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	80,77	80,0

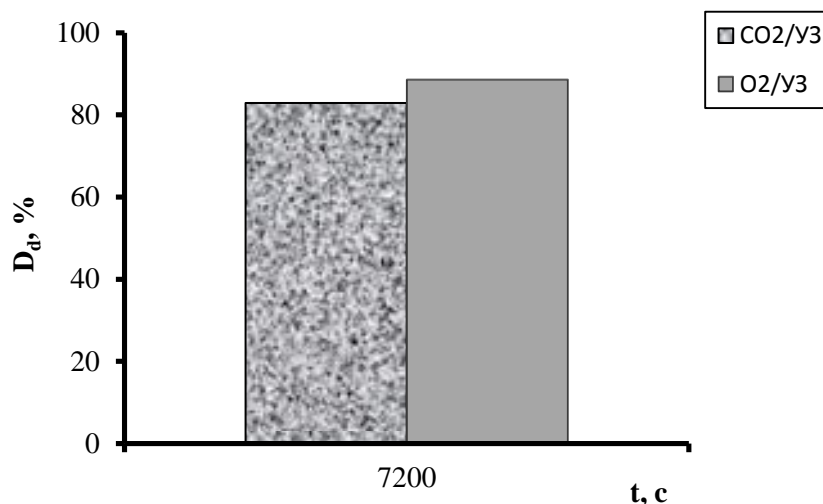
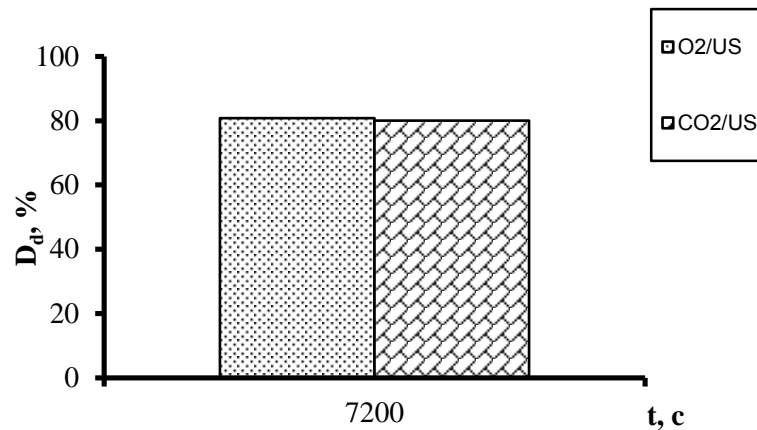


Рис. 2 – Залежність величини  $D_d$  для бактерій *Bacillus cereus* від тривалості газ/УЗ-обробки.  
Умови:  $CM_0 = 7 \cdot 10^4$  КУО/см<sup>3</sup>

величина ефективною константи швидкості загибелі МО ( $k_d$ ) не залежить від вихідної кількості клітин у воді [16], розрахована за кінетичним рівнянням реакції першого порядку. Обчислені величини  $k_d$  для бактерій становлять:  $4,36 \pm 0,03 \cdot 10^{-4}$ , с<sup>-1</sup> – для  $O_2/UЗ$  та

$2,52 \pm 0,03 \cdot 10^{-4}$ , с<sup>-1</sup> – для  $CO_2/UЗ$ , а для дріжджів:  $1,86 \pm 0,02 \cdot 10^{-4}$ , с<sup>-1</sup> – для  $O_2/UЗ$  та  $1,56 \pm 0,05 \cdot 10^{-4}$ , с<sup>-1</sup> – для  $CO_2/UЗ$ , тобто співрозмірні з величинами ступенів руйнування досліджуваних мікроорганізмів.



**Рис. 3** – Залежність величини  $D_d$  для дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* від тривалості газ/УЗ-обробки. Умови:  $ЧМ_0 = 5,2 \cdot 10^3$  КУО/см<sup>3</sup> – для CO<sub>2</sub>/УЗ та  $ЧМ_0 = 1,9 \cdot 10^4$  КУО/см<sup>3</sup> – для O<sub>2</sub>/УЗ

Як бачимо, активніше руйнуються бактеріальні клітини від дріжджових як в атмосфері кисню, так і в вуглекислому газі. Також згідно проведених досліджень можна порівняти ефективність руйнування МО в кавітаційному полі в залежності від природи газів і, таким чином, визначити газоподібну атмосферу, в якій цей процес є найбільш ефективним. Як бачимо, більшу ефективність в процесах знезараження води

виявляє кисень для обох досліджуваних видів МО. Це пояснюється утворенням додаткових радикалів в присутності кисню в кавітаційних умовах та інтенсифікації процесу.

Таким чином встановлено, що ефективність руйнування МО залежить не лише від різновиду присутніх мікроорганізмів у воді, але й від природи барботованого газу в кавітаційних умовах.

### Висновки

Досліджено дію кисню та вуглекислого газу на процес руйнування бактерій і дріжджів в умовах кавітації. За розрахованими величинами відношення кількості мікроорганізмів щодо початкової кількості мікроорганізмів, вираженими у відсотках відзначено більшу ефективність руйнування бактеріальних клітин, порівняно з дріжджовими. В процесі дослідження впливу

природи газу на ефективність знезараження води в кавітаційних умовах показано, що мікроорганізми, незалежно від їх родової приналежності, активніше руйнувались в умовах O<sub>2</sub>/УЗ, порівняно з CO<sub>2</sub>/УЗ. Отже, процес очищення води в кавітаційних умовах залежить від природи барботованого газу та родової ознаки мікроорганізмів.

### Конфлікт інтересів

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

### Література

1. Мягченко О. П. Основы экологии : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2010. 312 с.
2. Альохіна Т. М., Бобко А. О., Малахов І. М. Вміст важких металів у воді та донних відкладах річки Інгулець. *Гидробиологический журнал*. 2008. Т. 44, № 3. С. 114-120.
3. Сало Т. Л., Чернокозинський А.В., Вашкулат М.П. Вплив стічних вод міст на формування якості водних ресурсів у басейні середнього Дніпра. *Довкілля та здоров'я*. 2008. Т. 3, № 46. С. 76-78.
4. Буря О. І., Кудина О. Ф. Вода – властивості, проблеми та методи очищення : монографія. Дніпропетровськ : Пороги, 2006. 520 с.
5. Bhavya M. L., Umesh H. H. Sono-photodynamic inactivation of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* in orange juice. *Ultrasonics Sonochem*. 2019. Vol. 57. P. 108-115.
6. Iorio M. C., Bevilacqua A., Corbo M. R., Sinigaglia M., Altieri C. A case study on the use of ultrasound for the inhibition of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* in almond milk. *Ultrasonics Sonochem*. 2019. Vol. 52. P. 477-483.
7. 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.

8. Li Y., Shi X., Zhang Zh., Peng Y. Enhanced coagulation by high-frequency ultrasound in *Microcystis aeruginosa*-laden water: Strategies and mechanisms. *Ultrasonics Sonochem.* 2019. Vol. 55. P. 232-242.
9. Carrillo-Lopez L. M., Huerta-Jimenez M., Garcia-Galicia I. A. Bacterial control and structural and physicochemical modification of bovine *Longissimus dorsi* by ultrasound. *Ultrasonics Sonochem.* 2019. Vol. 58. P. 104-108.
10. 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.
11. Palanisamy N., Seale B., Turner A. Low frequency ultrasound inactivation of thermophilic bacilli (*Geobacillus* spp. and *Anoxybacillus flavithermus*) in the presence of sodium hydroxide and hydrogen peroxide. *Ultrasonics Sonochem.* 2019. Vol. 51. P. 325-331.
12. Stamper D. M., Holm E. R., Brizzolara R. A. Exposure times and energy densities for ultrasonic disinfection of *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterococcus avium*, and sewage. *Journal of Environmental Engineering and Science.* 2008. Vol. 7, No 2. P. 139-146.
13. Lambert N., Rediers H., Hulsmans A., Joris K. Evaluation of ultrasound technology for the disinfection of process water and the prevention of biofilm formation in a pilot plant. *Water Sci Technol.* 2010. Vol. 61, No 5. P. 1089-1096.
14. Naddeo V., Cesaro A., Mantzavinos D., Fatta-Kassinos D. Water and wastewater disinfection by ultrasound irradiation - a critical review. *Global Nest Journa.* 2014. Vol. 16, No 3. P. 561-577.
15. Luhovskyi O. F., Gryshko I. A., Bernyk I. M. Enhancing the Efficiency of Ultrasonic Wastewater Disinfection Technology. *Journal of Water Chemistry and Technology.* 2018. Vol. 40. P. 95-101.
16. Koval I. Microbial disaggregation with and without gas bubbling under cavitation conditions. *The environment and the industry.* 2017. Vol. 22. P. 56-60.

### References

1. Myahchenko, O. P. (2010). *Fundamentals of ecology*. Kyiv: Center for Educational Literature (in Ukrainian).
2. Alohina, T. M., Bobko, A. O. & Malakhov, I. M. (2008). Content of heavy metals in water and sediments of the Ingulets River. *Hydrobiological Journal*, 44(3), 114-120 (in Ukrainian).
3. Salo, T. L., Chornokozynskyy, A. V. & Vashkulat, M. P. (2008). Impact of urban wastewater on the formation of water quality in the Middle Dnieper basin. *Environment and health*, 3(46), 76-78 (in Ukrainian).
4. Burya, O. I. & Kudyna, O. F. (2006). *Water - Properties, Problems and Methods of Purification*. Dnepropetrovsk : Thresholds (in Ukrainian).
5. Bhavya, M. L. & Umesh, H. H. (2019). Sono-photodynamic inactivation of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* in orange juice. *Ultrasonics Sonochem.*, 57, 108-115.
6. Iorio, M. C., Bevilacqua, A., Corbo, M. R., Sinigaglia, M. & Altieri, C. (2019). A case study on the use of ultrasound for the inhibition of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* in almond milk. *Ultrasonics Sonochem.*, 52, 477-483.
7. 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.
8. Li, Y., Shi, X., Zhang, Zh. & Peng, Y. (2019). Enhanced coagulation by high-frequency ultrasound in *Microcystis aeruginosa*-laden water: Strategies and mechanisms. *Ultrasonics Sonochem.*, 55, 232-242.
9. Carrillo-Lopez, L. M., Huerta-Jimenez, M. & Garcia-Galicia, I. A. (2019). Bacterial control and structural and physicochemical modification of bovine *Longissimus dorsi* by ultrasound. *Ultrasonics Sonochem.*, 58, 104-108.
10. 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.
11. Palanisamy, N., Seale, B. & Turner, A. (2019). Low frequency ultrasound inactivation of thermophilic bacilli (*Geobacillus* spp. and *Anoxybacillus flavithermus*) in the presence of sodium hydroxide and hydrogen peroxide. *Ultrasonics Sonochem.*, 51, 325-331.
12. Stamper, D. M., Holm, E. R. & Brizzolara, R. A. (2008). Exposure times and energy densities for ultrasonic disinfection of *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterococcus avium*, and sewage. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 7(2), 139-146.
13. Lambert, N., Rediers, H., Hulsmans, A. & Joris K. (2010). Evaluation of ultrasound technology for the disinfection of process water and the prevention of biofilm formation in a pilot plant. *Water Sci Technol.*, 61(5), 1089-1096.
14. Naddeo, V., Cesaro, A., Mantzavinos, D. & Fatta-Kassinos, D. (2014). Water and wastewater disinfection by ultrasound irradiation - a critical review. *Global Nest Journal*, 16(3), 561-577.
15. Luhovskyi, O. F., Gryshko, I. A. & Bernyk, I. M. (2018). Enhancing the Efficiency of Ultrasonic Wastewater Disinfection Technology. *Journal of Water Chemistry and Technology*, 40, 95-101.
16. Koval, I. Z. (2017). Microbial disaggregation with and without gas bubbling under cavitation conditions. *The environment and the industry*, 22, 56-60.

## БІОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

UDC 574.64:574.2

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-22-08>

**A. M. KRAINIUKOVA<sup>1</sup>**, DSc (Biology), Prof., **O. M. KRAINIUKOV<sup>2</sup>**, DSc (Geography), Prof.,  
**I. A. KRIVITSKA<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Scientific-research establishment «Ukrainian Research Institute of Environmental Problems»  
st. Bakulina, 6, 61166, Kharkiv, Ukraine

<sup>2</sup>V. N. Karazin Kharkiv National University  
Liberty Square, 6, 61022, Kharkiv, Ukraine

e-mail: [biotest.niepkharkiv@meta.ua](mailto:biotest.niepkharkiv@meta.ua)  
[alkraynukov@gmail.com](mailto:alkraynukov@gmail.com)  
[ivkrivitska@gmail.com](mailto:ivkrivitska@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1005-8850>  
<https://orcid.org/0000-0002-5264-3118>  
<https://orcid.org/0000-0003-4727-794X>

### THE USE OF ALGAE'S PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY IN TOXICITY ASSESSMENT WITH THE PURPOSE OF CREATING PORTABLE DEVICES

The choice of test organisms and test reactions to be used in biotesting devices for wastewater toxicity, including portable ones, is caused by such factors as ease of cultivation and keeping test organisms in the laboratory, relatively high sensitivity to toxic substances, possibility of instrumental recording of physiological indicators used as test reactions on toxicity, a short time from the beginning of the toxicant action to the appearance of changes in the test reaction. Based on these criteria, we can assume that algae are a fairly convenient test organism for instrumental methods of biotesting since they have the a great deal advantages.

**Purpose.** To find the best options for assessing the photosynthetic activity of algae.

**Methods.** The polarography method.

**Results.** The authors have analyzed dependence of the main characteristics of the sensor on the structure of the diffusion layer and temperature and have found out that the optimal choice of the structure can be made depending on the biological object and experimental conditions. The research has shown that test reactions characterizing physiological state of algae are very diverse. This facilitates their choice for the purposes of instrumental toxicity biotesting, including biotesting toxicity of wastewater with portable instruments. Analysis of the experimental data has shown that it is possible to achieve the difference between concentrations of dissolved oxygen in a liquid culture before and after the exposure of the algae of 1-8 mg / l in a sufficiently short period of time by adjusting the density of algal cultures and light intensity. This indicates the fact that in principle it is possible to quantify photosynthetic activity of algae at short time intervals when exposed to light.

**Conclusions.** The most promising method for assessing the photosynthetic activity of algae is the polarography method, which makes it possible to develop a portable instrument for wastewater toxicity biotesting.

**KEYWORDS:** algae, photosynthetic activity, biotesting, wastewater, portable device

**Крайнюкова А. М.<sup>1</sup>, Крайнюков О. М.<sup>2</sup>, Кривицька І. А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>НДУ «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»

<sup>2</sup>Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

### ВИКОРИСТАННЯ ФОТОСИНТЕТИЧНОЇ АКТИВНОСТІ ВОДОРОСТЕЙ ЗАДЛЯ ОЦІНКИ ТОКСИЧНОСТІ З МЕТОЮ СТВОРЕННЯ ПОРТАТИВНОГО ПРИСТРОЮ

Створення ефективних стаціонарних пристроїв для біотестування токсичності є значним досягненням в області контролю якості стічних вод. Однак, поряд із стаціонарними пристроями, виникає нагальна потреба у створенні переносних або польових варіантів пристроїв (приладів) для інструментального

© Krainiukova A. M., Krainiukov O. M., Krivitska I. A., 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/)



контролю токсичності. Переносні пристрої такого типу могли б знайти широке застосування на тих підприємствах, де установка стаціонарних пристроїв недоцільна з технічних, експлуатаційних або економічних причин.

**Мета.** Знайти оптимальні варіанти для оцінки фотосинтетичної активності водоростей.

**Методи.** Метод полярографії.

**Результати.** Проаналізовано залежність основних характеристик датчика від будови дифузійного шару та температури і з'ясовано, що оптимальний вибір структури може бути зроблений залежно від біологічного об'єкта та умов експерименту. Дослідження показало, що тестові реакції, що характеризують фізіологічний стан водоростей, дуже різноманітні. Це полегшує їх вибір для цілей інструментального біотестування токсичності, включаючи біотестування токсичності стічних вод за допомогою переносних приладів. Аналіз експериментальних даних показав, що можна досягти різниці між концентраціями розчиненого кисню в рідкій культурі до та після впливу водоростей у концентрації 1-8 мг/л за досить короткий проміжок часу, регулюючи щільність культур водоростей та інтенсивності світла. Це вказує на той факт, що в принципі можливо кількісно оцінити фотосинтетичну активність водоростей через короткі проміжки часу при впливі світла.

**Висновки.** Найбільш перспективним методом оцінки фотосинтетичної активності водоростей є метод полярографії, який дає можливість розробити портативний прилад для біотестування токсичності стічних вод.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** водорості, фотосинтетична активність, біотестування, стічні води, портативний пристрій

**Крайнюкова А. Н.<sup>1</sup>, Крайнюков А. Н.<sup>2</sup>, Кривицкая И. А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>НДУ «Український науково-дослідницький інститут екологічних проблем»

<sup>2</sup>Харьківський національний університет імені В. Н. Каразіна

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ВОДОРΟΣЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОКСИЧНОСТИ С ЦЕЛЮ СОЗДАНИЯ ПОРТАТИВНОГО УСТРОЙСТВА**

Создание эффективных стационарных устройств для биотестирования токсичности является значительным достижением в области контроля качества сточных вод. Однако, наряду со стационарными устройствами, возникает насущная необходимость в создании переносных или полевых вариантов устройств (приборов) для инструментального контроля токсичности. Переносные устройства такого типа могли бы найти широкое применение на тех предприятиях, где установка стационарных устройств нецелесообразна по техническим, эксплуатационным или экономическим причинам.

**Цель.** Найти оптимальные варианты для оценки фотосинтетической активности водорослей.

**Методы.** Метод полярографии.

**Результаты.** Авторы проанализировали зависимость основных характеристик датчика от строения диффузионного слоя и температуры и выяснили, что оптимальный выбор структуры может быть сделан в зависимости от биологического объекта и условий эксперимента. Исследование показало, что тестовые реакции, характеризующие физиологическое состояние водорослей, очень разнообразны. Это облегчает их выбор для целей инструментального биотестирования токсичности, включая биотестирование токсичности сточных вод с помощью переносных приборов. Анализ экспериментальных данных показал, что можно достичь разницы между концентрациями растворенного кислорода в жидкой культуре до и после воздействия водорослей в концентрации 1-8 мг/л за достаточно короткий промежуток времени, регулируя плотность культур водорослей и интенсивности света. Это указывает на тот факт, что в принципе возможно количественно оценить фотосинтетическую активность водорослей через короткие промежутки времени при воздействии света.

**Выводы.** Наиболее перспективным методом оценки фотосинтетической активности водорослей является метод полярографии, который дает возможность разработать портативный прибор для биотестирования токсичности сточных вод.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** водоросли, фотосинтетическая активность, биотестирование, сточные воды, переносное устройство

## **Introduction**

Today the number of substances potentially polluting water bodies reaches 10 thousand and may increase in the future. It can be assumed with certainty that it is impossible to

fully solve the problem of water quality with the help of analytical tools, since in most cases analytical controls are designed to measure one or, at best, several parameters, characterizing

water quality. However, it is basically possible to control the presence of many substances in water quite accurately with the help of analytical tools. In practice, such control faces a number of difficulties, primarily of an economic nature.

In this regard, it is necessary to develop new approaches to the selection of water quality indicators and creation of fundamentally new technical means to monitor these indicators. One of the ways to improve the efficiency of natural and wastewater control is the development and use in practice of biological control methods and technical means to implement these methods. In contrast to the physical-chemical parameters, biological indicators generally characterize biological properties of water and in this case are integral indicators of biological effect of the substances in wastewater [1].

#### Analysis of Recent Studies Results

The choice of test organisms and test reactions to be used in biotesting devices for wastewater toxicity, including portable ones, is caused by such factors as ease of cultivation and keeping test organisms in the laboratory, relatively high sensitivity to toxic substances, possibility of instrumental recording of physiological indicators used as test reactions on toxicity, a short time from the beginning of the toxicant action to the appearance of changes in the test reaction. Based on these criteria, we can assume that algae are a fairly convenient test organism for instrumental methods of bioindication since they have the following advantages:

- numerous types of unicellular algae are easily cultivated in laboratory conditions on liquid mineral environment;

- physiological state of algae can be characterized by a fairly wide range of indicators, many of which are easily controlled by instrumental methods;

- single-celled algae have a short development cycle, which makes it possible to predict not only the short-term effects of the toxicants' action but also their action in subsequent generations of algae.

These factors allow to extensively use algae in toxicological studies in assessing the chronic and acute toxicity of wastewater and some chemicals. The authors [2] used the blue-

At present intensive studies are being conducted to develop effective methods for biological control of water quality, primarily industrial wastewater, as well as technical means to introduce these methods, suitable not only for research in laboratory practice, but also at industrial plants. As a rule, these devices are stationary and are designed for continuous monitoring of acute toxicity of wastewater. However, along with stationary devices, there is an urgent need to create portable or field versions of devices for instrumental monitoring of toxicity. Portable devices of this type could be widely used at the enterprises where the installation of stationary devices is impractical for technical, operational or economic reasons. In addition, these devices could be used by the authorities regulating utilization and protection of water resources for periodical monitoring of industrial wastewater toxicity.

green algae *Anabaena spiroides* to assess the toxicity of a number of heavy metals. The growth rate, intensity of photosynthesis and ion exchange between algae cells and the medium were chosen as test reactions. It was found that the most sensitive indicator of toxicity was the intensity of ion exchange. The threshold concentrations of metals causing metabolic imbalances of potassium and sodium were about 2 times lower than the accepted MPC. Such test reactions as the growth rate and photosynthesis of algae were less sensitive to the action of heavy metals. In the work [3], the effect of mercury and lead on the division of *Chlorella vulgaris* cells was investigated. It has been found out that concentration of metals, suppressing algae cell division by 50%, is 0.06 for cadmium, 0.18 for copper, 1.03 for mercury, 5.1 for zinc, and 1.0 mg / l for lead. The authors of the work [4] used blue-green algae to assess the toxicity of oil and oil products. As a result of the study it has been determined that photosynthesis of algae is completely inhibited when the concentration of petroleum products in the medium is from 0.1 to 1.0 g / l.

A number of researchers [5-7] used algae of various systematic groups to determine the toxicity of substances from the class of herbicides and insecticides, and heavy metals. In particular, [5] investigated the effect of

many herbicide-related substances on the *Chlorella* proto-cocca alga. It was determined that all the substances they studied had a toxic effect on algae in a concentration of from  $1 \cdot 10^{-5}$  to  $2 \cdot 10^{-7}$  M. The fact, that propanide causes a decrease in photosynthesis in the *Anabaena variabilis* in a concentration of 0.0025 mg / l has been defined in the work [6].

From the literature data we can draw the following conclusions:

- algae are widely used as test organisms in assessing the toxicity of chemicals and wastewater;

- algae are most sensitive to chemical compounds belonging to the class of herbicides and insecticides, as well as to heavy metals. This determines the possible scope of algae as test organisms in assessing the toxicity of wastewater categories containing these substances.

Methods for assessing the physiological condition of algae mainly used in the physiol-

ogy and biochemistry of plants, and which are not yet widely used in aquatic toxicology, are of considerable interest to scientists.

A number of researchers have claimed that the electrophysiological properties of plant cell membrane structures, including the outer membrane, the cell membrane, can serve as a very sensitive indicator of the functional state of the plant organism. Studies in this area have shown that in the presence of substances from the class of herbicides, heavy metals and a number of other compounds in incubation media, electrophysiological characteristics of membranes, such as electrical potential, conductivity, capacity, etc., change [8-11].

These examples show that test reactions characterizing the physiological condition of algae are very diverse, which facilitates their selection for the purposes of instrumental toxicity biotesting, including biotesting of sewage toxicity, using portable instruments.

### Methodology Description

From the analysis of the literature data given in the previous section, we can conclude that when assessing the toxicity of wastewater, the following indicators of the physiological state of algae are most often used as test reactions:

- growth intensity (reproduction);
- electrophysiological characteristics of plant cell membranes;
- intensity of the photoinduced afterglow (delayed fluorescence);
- intensity of photosynthesis (photosynthetic activity);
- ion exchange.

Tests on changing pH of the incubation medium and the nature of algae movement are much less frequently used. It should be noted that the test reaction or toxicity test used in instrumental biotesting, must meet a number of specific requirements, which may be optional in classical aquatic toxicology. The main ones are as follows:

- possibility of instrumental registration of the reaction in continuous or discrete modes;
- possibility of quantitative registration;
- rather high sensitivity to toxicants;
- unambiguity, that is, the selected test reaction must unambiguously characterize the physiological states of the test object;
- low inertia, that is, the time from the beginning of the toxicant action to the appear-

ance of changes in the tested reaction should be minimal.

The test reaction used in portable biotesting devices, apart from the listed features, should be rather simple in terms of its measurement technique under production and field conditions.

All devices used to register a particular algal test reaction are intended for scientific, not industrial, purposes. We consider the registration methods of one or another test reaction of algae only from the point of view of its possible use in portable devices, as well as creating portable devices for measuring these reactions.

The growth intensity (reproduction). This test reaction, as noted above, is used in assessing chronic toxicity of wastewater. In classical aquatic toxicology the growth rate is determined by method of direct counting of cells under a microscope. However, this indicator can be measured using existing instruments, for example, a photocolorimeter. Portable models of photocolorimeters are mastered by industry and are produced both in our country and abroad. However, given the fact that algae have a relatively long generative cycle, this indicator cannot be used as a test for rapid toxicity analysis.

Electrophysiological characteristics of plant cell membranes. Technical aspects of measuring the electrophysiological characteristics of plant cell membranes, especially *chara*

*algae*, are now quite well developed for the practice of scientific research. They can be measured by contact methods introducing microelectrodes into the cell, as well as by contactless ones. Measuring tools required for these purposes are general-purpose electrical measuring instruments, that is, micro- and millimeters and voltmeters. Such devices are manufactured by our industry, including those in portable versions. Despite this, creation of a portable instrument for assessing wastewater toxicity by measuring the electrophysiological characteristics of algae cells is currently impractical because of complex methodological process of measuring these characteristics in production practice.

Intensity of photoinduced afterglow (delayed fluorescence). This test reaction is highly sensitive to the action of many toxicants. Afterglow is registered with the help of detectors of weak light fluxes. Since the spectral composition of the photoinduced afterglow lies mainly in the red part of the spectrum, it is most appropriate to use spectrofluorimeters to register it. Based on the technical characteristics of spectrofluorimeters produced by the industry, as well as on the analysis of the structural diagrams of these devices, it can be assumed that development of a portable instrument for assessing wastewater toxicity by measuring the long afterglow of algae is a difficult technical problem.

Ion exchange. This test reaction is not used in classical aquatic toxicology but a number of studies suggest that a disruption of ion exchange, especially exchange of potassium and sodium ions between cells and the environment is a sensitive indicator of the physiological state of the cell [2]. At present, simple and fairly sensitive methods for determining ion exchange using ion-selective electrodes have been developed. We can measure ion activity using electrical measuring tools for general use (millimeters, millivoltmeters) or special instruments, such as ionomers. Given the simplicity of the instrumental measurement of ion exchange and high sensitivity of this test, it can be assumed that this method of toxicity bioindication can be used both in stationary and in portable devices. However, more in-depth studies are needed for the final decision on the application of this test in instrumental biotesting, such as the relationship between ion

exchange and other indicators of the physiological state of algae, specificity of various substances and influence of side factors on ion exchange.

pH of the medium. A number of researchers [12,13] used a change in pH in an algae culture under the action of toxicants as a test reaction. Change in pH indirectly characterizes the intensity of algae photosynthesis. The use of pH as test reactions in portable devices is impractical because the pH of the medium can change not only due to the photosynthesis of algae, but also due to bacteria respiration, always present in wastewater. At a certain ratio of algae and bacteria the process of emission and absorption of CO<sub>2</sub> can be in equilibrium, and pH of the medium will not change. In this case, pH will not reflect the actual physiological state of the test object, that is, the algae. Thus, we cannot obtain reliable data on the toxicity of the investigated wastewater.

Movement of algae. The use of this indicator as a test reaction is reported in the work [14]. As a test object a blue-green alga *Phormidium* was taken. This work describes an automated device for determining the nature of algae movement by photocolometric method.

Methods used in cytophotometry are of special interest for instrumental biotesting of toxicity. Using cytometric methods of analysis, it is possible to determine such indicators of the physiological state of microorganisms as the ratio of living and dead cells, growth intensity, concentration of individual biochemical compounds, enzyme activity [15,16]. However, modern cytophotometers and cytofluorimeters are very complex and expensive devices and their use is limited mainly to the field of scientific research in physiology, biochemistry, microbiology and cytology. The use of such devices to assess the toxicity of wastewater in production conditions is not advisable for economic and technical reasons.

Intensity of photosynthesis (photosynthetic activity). The intensity of photosynthesis is the most common test for toxicity when using algae as test objects. Instrumental recording and automating the measurement process, rapidity, ease of measurement are important for instrumental methods in assessing wastewater toxicity. The refore, it is necessary to consider in more detail the currently used

methods for determining the intensity of algae photosynthesis, to briefly assess each of them in terms of possible use in portable devices for biotesting wastewater. All methods for determining photosynthesis are based on measuring the rate of oxygen evolution or carbon dioxide absorption in an incubation medium before and after a certain exposure of an algae culture to light. Concentration of these gases is determined by manometric, chemical, radiocarbon and polarography methods.

In manometric determination of photosynthesis, a certain volume of algae culture is placed in an airtight vessel connected with pressure gauges. Since in the process of photosynthesis, algae emit oxygen, the pressure of gases in a confined space increases. From the difference in pressure recorded by pressure gauges before and after algae exposure to light, we can calculate the intensity of photosynthesis. There are many types of devices for assessing the rate of gas exchange of algae by the manometric method, however, all of them are cumbersome and it is not advisable to create a portable device for bioindication of wastewater toxicity on their basis.

The main standardized method for determining the rate of photosynthesis is the iodometric method. This method refers to chemical determination methods and is based on the reaction of dissolved oxygen in liquids with manganese hydroxide and the subsequent iodometric determination of oxidized manganese compounds. This method cannot be used in portable devices as it includes a large number of manual operations, is laborious and time-consuming in execution.

The radiocarbon method for determining the rate of photosynthesis is mainly used in the laboratory practice of physiological research. It is based on the use of  $C^{14}O_2$  as a carbon source. Since algae use  $C^{14}O_2$  in the process of photosynthesis, by measuring their biomass radioactivity before and after the introduction of this compound into the medium, a specific rate of photosynthesis can be calculated. The method is not suitable for use in portable devices, due to the difficulties associated with obtaining a radioactive carbon isotope.

The most promising method for determining the intensity of algae photosynthesis from the point of view of its use in portable toxicity bioindication devices can be consid-

ered the polarography method. The main advantages of this method are simplicity of technical implementation, high sensitivity, low inertia, insensitivity to adverse chemical environmental factors, ability to quantify and record, ease of performing the measurement process, can be used in analyzing small volume samples. All this have led to the fact that the polarography method for the oxygen determination in biological fluids almost supplanted all other methods.

To study physiological and biochemical aspects of photosynthesis of plants, including algae, a number of laboratory installations have been designed, including flow-type installations. Although structurally these installations are different from each other, their diagrams are almost identical. As a rule, they include incubation chambers, dissolved oxygen sensors, measuring and recording systems, thermal and lighting systems control. We can draw the following conclusions from the above analysis:

1. algae can be used as test objects in wastewater biotesting devices;
2. the most appropriate of the test reactions characterizing the physiological state of algae to be used in biotesting devices are the following - the intensity of the long afterglow, ion exchange and photosynthetic activity of algae;
3. there are technical prerequisites for the creation of portable bioindication devices for wastewater toxicity, using various test reactions of algae on phytotoxic substances;
4. the most acceptable test reactions from the point of view of the available technical capabilities to create portable instruments for instrumental measurement of these reactions are algae photosynthetic activity and ion exchange.

To test the method of algae photosynthetic activity measuring by the printing method, a laboratory device layout was developed and manufactured. The device includes a thermoluminostat, a PL-700ALS oximeter with a culture chamber. A distinctive feature of this setup is the fact that it can work with dense cultures of algae and small sample volumes. Samples of *Scenedesmus quadricauda* u *Chlorella vulgaris* were used as test organisms. These types of algae are easily cultivated under laboratory conditions; they are rather sensitive to toxicants and are widely used as test objects

in classical aquatic toxicology. Algae were grown in Tamiya and Uspensky No. 1 environments in 5-liter glass containers at illumination of 2500-3000 lx, temperature 21-26 ° C and constant stirring. For the experiments, 7–10-day cultures in the exponential phase of

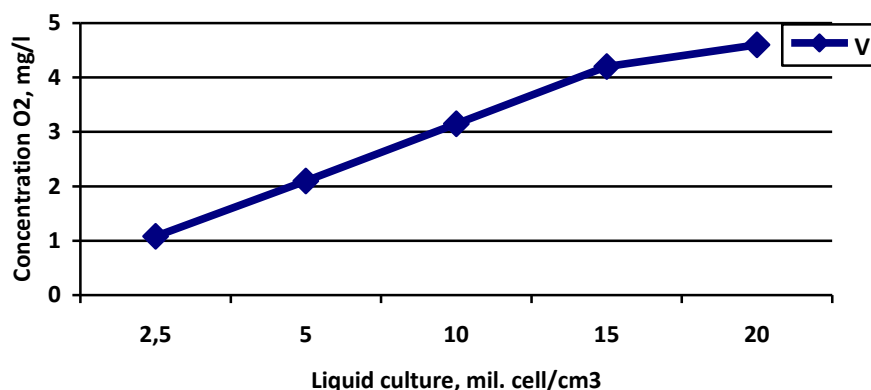
development were used. Immediately before carrying out the analysis, the cultures were compacted by condensing them on membrane filters. Assessment of the cultures density was carried out by direct counting of cells in the Goryaev chamber.

### Results of the Research

One of the goals of our work was to find the best options for assessing the photosynthetic activity of algae, using the polarography method. In general, the definition of photosynthesis is reduced to measuring the concentration of dissolved oxygen in a liquid culture of algae before and after exposing samples to light. The value of this difference should always be much greater than the maximum sensitivity of the used method, in this case polarography. In the event the specified difference is less than the sensitivity of the method used, the results of the determination will be unreliable. As our task was not to determine sensitivity of the polarography method, in order to obtain reliable results it was important to study under what conditions the algae emit maximum amount of oxygen during the selected time of their exposure to light. There are several ways to ensure that the difference between the concentrations of dissolved oxygen in the samples before and after their exposure is large enough. The first way is to use a high density culture. As is well known, ceteris paribus, the amount of oxygen released during photosynthesis depends on the number of algae cells per unit volume of the liquid medium, and on density of the culture. In classical aquatic toxicol-

ogy cultures with density  $1 \cdot 10^5 - 5 \cdot 10^5$  cells /  $\text{cm}^3$  are used. At the same time, it is desirable to minimize the contact time. Such density of cultures may not be sufficient to obtain reliable results while assessing concentrations differences of dissolved oxygen in the control and experimental samples. Experiments were conducted to study the rate of increase in dissolved oxygen concentration in liquid culture of algae *Sc. quadricauda* and *Chl. Vulgaris* of varying density. The results of these experiments are presented in figures 1; 2; 3.

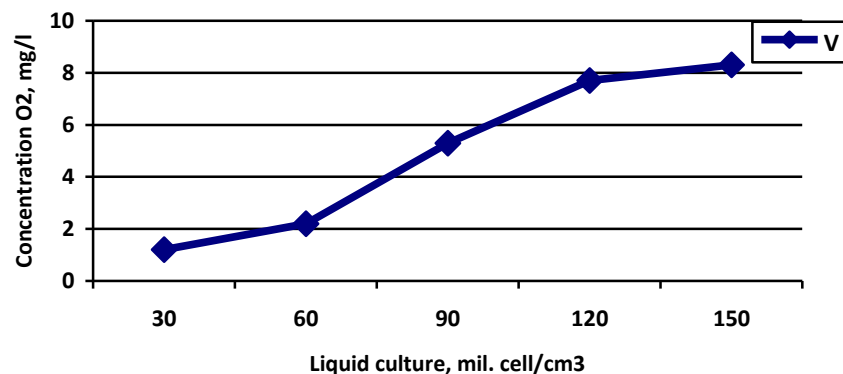
As can be seen from figures 1 and 2, the rate of concentration increase of dissolved oxygen in cultures is proportional to their density in a wide range. For *Sc. quadricauda* this interval is in the range of  $2.5 - 15 \cdot 10^6$  cells /  $\text{cm}^3$ , for *Chl. Vulgaris* – about  $30 - 120 \cdot 10^6$  cells /  $\text{cm}^3$ . With increasing density of above-specified limits, the rate of oxygen increase in the medium slows down. Slowing down of oxygen evolution rate at a culture density of  $20 \cdot 10^6$  cells /  $\text{cm}^3$  for *Sc. quadricauda* and  $120 \cdot 10^6$  cells /  $\text{cm}^3$  for *Chl. Vulgaris* can be explained by influence of factors limiting photosynthesis; first of all, by the exhaustion of dissolved carbon dioxide in the medium.



Light intensity – 8000 lx. Algae exposure time in the light – 7 min

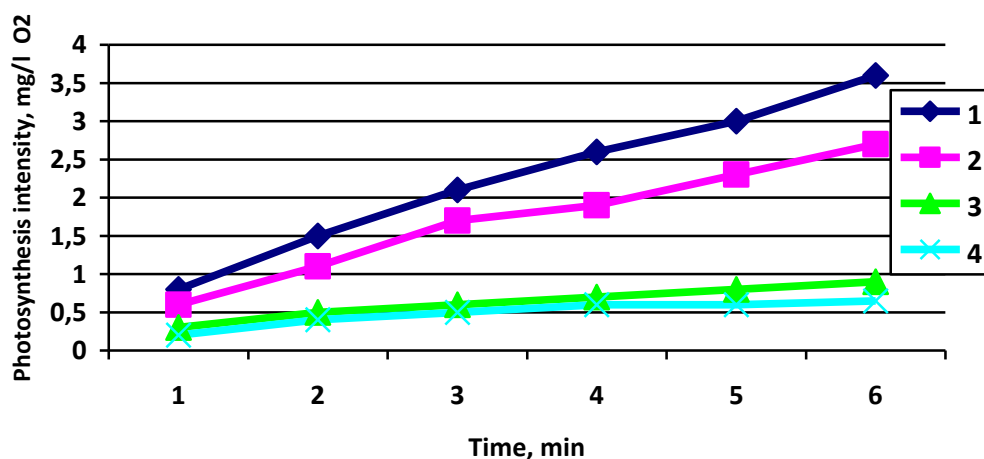
Fig. 1 – The rate of concentration increase of dissolved oxygen in liquid culture *Sc. quadricauda* of varying density





Light intensity – 8000 lx. Algae exposure time in the light – 7 min

Fig. 2 – The rate of concentration increase of dissolved oxygen in the liquid culture *Chl. Vulgaris* of varying density



- 1 – *Sc. quadricauda*, culture density -  $15 \cdot 10^6$  cells / cm<sup>3</sup>;
- 2 – *Sc. quadricauda*, culture density -  $10 \cdot 10^6$  cells / cm<sup>3</sup>;
- 3 – *Chl. Vulgaris*, culture density -  $15 \cdot 10^6$  cells / cm<sup>3</sup>;
- 4 – *Chl. Vulgaris*, culture density -  $10 \cdot 10^6$  cells/cm<sup>3</sup>.

Fig. 3 – Comparative characteristic of photosynthesis intensity of cultures *Sc. quadricauda* and *Chl. Vulgaris* with the same density. Light intensity - 8000 lx

Analyzing the results given in Figure 3, we can conclude that the specific photosynthetic activity of *Sc. quadricauda* is several times higher than that of *Chl. Vulgaris*. Based on the fact that the photosynthesis activity of these algae was determined under identical conditions, it can be concluded that the differences are explained only by species peculiarities of these algae.

Analysis of oxygen release rate by algae cultures of varying density indicates that the

increase in oxygen concentration in the culture *Sc. quadricauda*, depending on its density is 1–4 mg / l in 7 minutes of algae exposure to light 8000 lux (Fig. 1). For *Chl. Vulgaris* this increase is 0.4 - 8.4 mg / l (Fig. 2). It can be assumed that with an increase in exposure time to light, the increase in dissolved oxygen concentration will be higher. Such a significant increase in cultures during the exposure of algae to light suggests that the sensitivity limits of the polarography method for determining

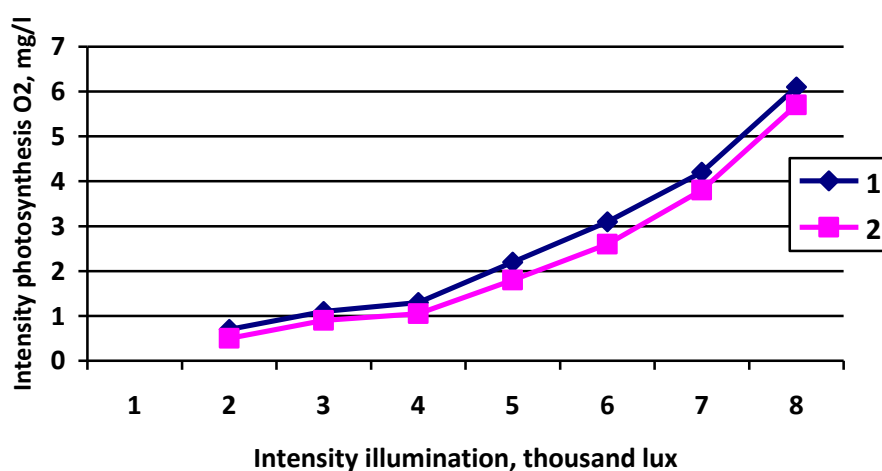
oxygen in a liquid will be sufficient to obtain reliable results when measuring the photosynthesis rate of algae of these species with a culture density of 5 to 150 million cells / cm<sup>3</sup>.

As can be seen from this figure, the intensity of photosynthesis is proportional to the intensity of illumination in the range of 4–8 thousand lux. An increase in illumination intensity up to 10 thousand lux sharply worsens measurements. Illumination intensity of is less than 4 thousand lux leads to a significant decrease in algae photosynthesis intensity. Increase in dissolved oxygen concentration in 6 minutes of exposure of cultures to light in this case is 1 mg / l.

Experiments on the study of photosynthesis and respiration of high-density algae cultures were conducted on a test device, and some dynamic characteristics of the installation itself were also investigated.

We have also conducted experiments to study the relationship between the intensity of algae photosynthesis and the illumination intensity of the measuring cuvettes. The results of the experiments are presented in Fig.4.

Dynamic characteristics of the installation are largely determined by the “inherent” dynamic characteristics of the dissolved oxygen sensor.



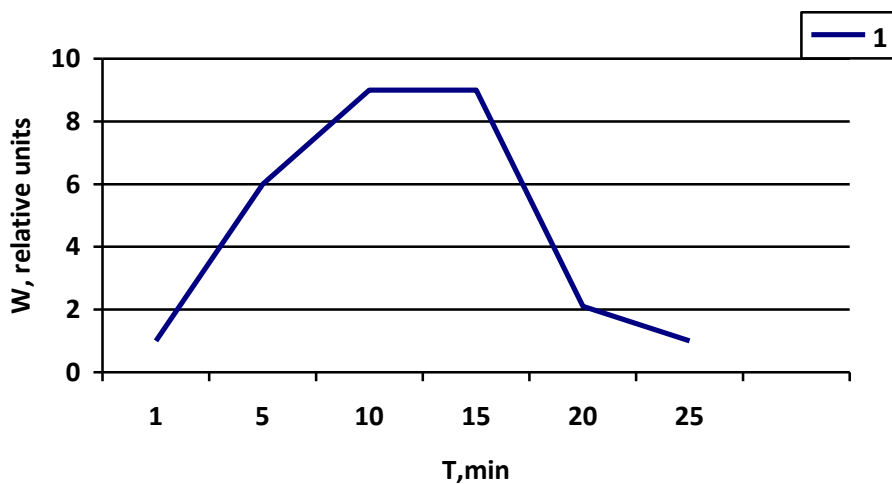
1 – *Chl. Vulgaris*, culture density –  $60 \cdot 10^6$  cells / cm<sup>3</sup>;  
 2 – *Sc. quadricauda*, culture density –  $8,1 \cdot 10^6$  cells / cm<sup>3</sup>.  
 Algae exposure time in the light – 7 min.

**Fig. 4** –The dependence of the photosynthesis intensity of algae on the illumination of the measuring cuvettes

Fig. 5 shows a general view of the characteristic kinetic curve of photosynthesis and respiration of algae for these measurements. In their form, the curves coincide with those previously described in the literature. After turning on the light, rapid emission of oxygen begins, reaches a maximum, slightly decreases and then stabilizes. When you turn off the light, there is a sharp decrease in oxygen concentration down to zero. This is due to the absorption of oxygen by algae during their dark respiration. Experimental studies have shown that the shape of the kinetic curve depends on both external factors, such as illumina-

tion intensity and the spectral composition of the light, and on the physiological state of the test object.

Thus, summarizing the results of experimental data, it can be concluded that, by adjusting the density of algal cultures and light intensity, it is possible to achieve the condition when difference between the dissolved oxygen concentrations in the liquid culture before and after the algae exposure to light will be 1-8 ml/l for a sufficiently short period of time. It means that it is possible in principle to quantify photosynthetic activity of algae at short time intervals when exposed to light.



 – the lights are turned off

 – the light is on

**Fig. 5** – Dependence of the release or absorption of oxygen in the illuminated and dark culture

### Conclusions

A review of current methods and devices for wastewater biotesting indicates that at present there are technical prerequisites for creation of portable devices for bioindication of toxicity, using unicellular algae as test objects and an indicator of their photosynthetic activity as a test reaction.

The most promising method for assessing the photosynthetic activity of algae is the polarography method, which allows developing a portable device for bioindication of wastewater toxicity.

Having analyzed construction of structural diagrams of portable devices for assessing the toxicity of liquids, we have found out that its main specificity is the combination of biological systems with technical ones.

The main element of the biological system is a primary biological transducer, perceiving the effects of toxic substances and converting biological signals into a form that is acceptable for registration with technical devices. The task of creating a primary biological transducer and the choice of an informative biological signal can be solved by using single-celled algae placed in a sealed chamber and measuring gas exchange in the chamber. The authors have analyzed dependence of the main characteristics of the sensor on the structure of the diffusion layer and temperature and have found out that the optimal choice of the structure can be made depending on the biological object and experimental conditions.

### Conflict of Interests

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this manuscript. In addition, the ethical issues, including plagiarism, data fabrication and double publication have been completely observed by the authors.

### References

1. Krainiukov, O. M. & Yakusheva, A. V. (2020). Research of the possibility of using *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Crustacea) in a short-term test while setting ecological quality standards in Ukraine. *Visnyk of V. N.*

- Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology", (51), 199-206.  
<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-14> (in Ukrainian).
2. Kostyaev, V., Yagodka, S. & Sokolov, V. (1980). Anabaena spiroides sensitivity to zinc and cobalt. *Gidrobiol. magazine*, 16(2), 89-92 (in Russian).
  3. Raso, J. & Rachlin, I. (1977). The effect of cadmium, copper, mercuru, zincum and lead on cell division growth and chlorophyll a content a content of the chlorophyte. *Chl. vulgaris. Bull. Torreu. Bot. Club.*, (3), 226-233.
  4. Kravchenko, N. & Gapochka, L. (1977). Effect of petrochemical products on some blue-green algae. *Ed. AN Tur. SSR. Ser. "Biol. science"*, (2), 52-56 (in Russian).
  5. Matorin, D., Venediktov, P. & Makevnina, M. (1977). Application of the method of registration of the afterglow of green algae to determine the contamination of soil and water with phytotoxic substances. *Scientific reports High School "Biol. science"*, (12), 122-125 (in Russian).
  6. Pokrovskaya, N. (1977). The action of propanide and Yalan on the photosynthetic process of the Alaba Anabaena spiroides. *Prince Cultivir and approx. microalgae*. Tashkent, 22-23 (in Russian).
  7. Shokodko, T. & Merezko, A. (1978). Changes in the activity of the photosynthetic apparatus of aquatic plants under the action of DDT. *Gidrobiol. Magazine*, (5), 86-89 (in Russian).
  8. Belghith, T., Athmouni, K., Bellassoued, K., El Feki, A. & Ayadi, H. (2015). Physiological and biochemical response of *Dunaliella salina* to cadmium pollution. *Journal of Applied Phycology*, 28(2), 991-999. <https://doi.org/10.1007/s10811-015-0630-5>
  9. Folgar, S., Torres, E., Pérez-Rama, M., Cid, A., Herrero, C. & Abalde, J. (2009). *Dunaliella salina* as marine microalga highly tolerant to but a poor remover of cadmium. *Journal of Hazardous Materials*, 165(1-3), 486-493. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.10.010>
  10. García-ríos, V., Freile-pelegrín, Y., Robledo, D., Mendoza-cózatl, D., Moreno-sánchez, R. & Goldbouchot, G. (2007). Cell wall composition affects Cd<sup>2+</sup> accumulation and intracellular thiol peptides in marine red algae. *Aquatic Toxicology*, 81(1), 65-72. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2006.11.001>
  11. Nikookar, K., Moradshahi, A. & Hosseini, L (2005). Physiological responses of *Dunaliella salina* and *Dunaliella tertiolecta* to copper toxicity. *Biomolecular Engineering*, 22(4), 141-146. <https://doi.org/10.1016/j.bioeng.2005.07.001>
  12. Goryunova, S. (2002). Photo-induced pH change as an integral method for controlling natural and waste waters. *Proceedings of the International Conference: New technologies in the protection of biodiversity in aquatic ecosystems*, Moscow, 2002, May 27-29 (p. 97). Moscow: Moscow State University (in Russian).
  13. Plekhanov, S., Pimentel, F., Goryunova, S. & Chemeris, Yu. (2004). Early diagnosis of the toxic effect of heavy metals on green microalgae according to their photosynthetic characteristics. *Proceedings of the International Conference: Aquatic Ecosystems and Organisms-6*, Moscow, 2004, May 18-19 (pp. 87-88). Moscow: MAX Press (in Russian).
  14. Beneche, G. (1977). Automatisierung der auswertur einer algenheteste hemmung der kreichenbewegung einer blaualge (*Phornidium sp.*) durch deigat. *Z. Waasser und Abwasser-Forsch.*, (6), 195-197.
  15. Einsele, A., Riatroph, D. & Humphereu, A. (1979). Substrate uptacemechanisms for yeast cells. A new approach utilizing a fluorometer. *Eur. J. Appl. Microbiol. and Biotechnol.*, (4), 335-339.
  16. Healeu, F. & Headzel, L. (1979). Fluorometric measurement of alkaline phosphatase activity in algae. *Freshwater Biol.*, (5), 429-439.

Надійшла до редакції 10.03.2020

Прийнята 15.04.2020

## ДОСЛІДЖЕННЯ РЕКРЕАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ

УДК (UDC) 502.72:502.752

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-22-09>

О. М. ГОНЧАРУК<sup>1</sup>, О. Є. КУКУРУЗА<sup>1</sup>, А. О. ПОТРОХОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ПП «Лотос К»

вул. Миколи Василенка, буд. 7, м. Київ, 03124, Україна

вул. Сулими, 2, смт. Глеваха, Васильківський р-н, Київська обл., 08630, Україна

<sup>2</sup> Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України

вул. Академіка Заболотного, 148, м. Київ, 03143, Україна

e-mail: [gan.eskander@gmail.com](mailto:gan.eskander@gmail.com)

[kukuruza@lotosk.com.ua](mailto:kukuruza@lotosk.com.ua)

[AlexGSMster@gmail.com](mailto:AlexGSMster@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4068-8957>

<https://orcid.org/0000-0002-6235-9364>

<https://orcid.org/0000-0002-6391-1106>

### СТАН ФІТОЦЕНОЗУ У ПАРКУ ПРИРОДИ «БЕРЕМИЦЬКЕ»

**Мета.** Ботанічний аналіз наявної рослинності на території парку природи «Беремицьке» для подальшого районування та виділення окремих територій, на яких планується відтворення первісного стану фітоценозу.

**Методи.** Польові методи дослідження для аналізу таксономічного складу флори на території парку, картографічні методи для районування місцевості та історичний аналіз використання земель парку колишніми землевласниками.

**Результати.** Проведений моніторинг флори показав, що на досліджуваних територіях переважали адвентивні та синантропні види, зокрема на лучно-степових ділянках переважала інвазійна та синантропна рослинність представлена *Ambrosia artemisiifolia*, *Asclepias syriaca*, *Amaranthus retroflexus*, *Arctium lappa*, *Sonchus arvensis*, *Tanacetum vulgare*, *Medicago lupulina*, *Verbascum phlomoides*, *Urtica dioica*. Серед дерев'яних форм переважали *Betula pendula*, *Robinia pseudoacacia*, *Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Pinus sylvestris*, *Populus nigra*, *Alnus glutinosa*, *Carpinus betulus*. Серед рідкісних рослин були виявлені скупченням *Iris sibirica*, на окремих лучно-болотних ділянках. Розроблена схема парку та визначено початкові точки на яких планується відтворення флори.

**Висновки.** Видовий склад фітоценозу показав переважання інвазійних видів рослинності в окремих ділянках парку. Віднайдені місця зростання зникаючого виду *Iris sibirica*, в подальшому дозволить спроектувати нові екологічні стежки на території парку та провести його реінтродукцію на інші придатні ділянки. Отримані дані дозволять розробити схему відновлення первісного флористичного біорізноманіття на території парку з урахуванням виявлених особливостей.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** флора, рідкісні рослини, «ревайлдінг», відновлення територій, «Беремицьке»

Goncharuk O. M.<sup>1</sup>, Kukuruza O. E.<sup>1</sup>, Potrokhov A. O.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Private Company «Lotus K»

<sup>2</sup> Institute of Cell Biology and Genetic Engineering, NAS of Ukraine

### STATE OF PHYTOCENOSIS IN BEREMYTSKE NATURE PARK

**Purpose.** Botanical analysis of existing vegetation in the territory of the “Beremitske” Nature Park for further zoning and selection of individual territories where reproduction of the original state of the phytocenosis is planned.

**Methods.** Field research methods for the analysis of the taxonomic composition of the flora in the park, cartographic methods for zoning the area and historical analysis of the land use of the former landowners.

**Results.** The conducted flora monitoring showed that in the studied territories the adventitious and synanthropic species predominated, in particular in the meadow-steppe areas the invasive and synanthropic vegetation

© Гончарук О. М., Кукуруза О. Є., Потрохов А. 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/).

was represented by *Ambrosia artemisiifolia*, *Asclepias syriaca*, *Amaranthus retroflexus*, *Arctium lappa*, *Sonchus arvensis*, *Tanacetum vulgare*, *Medicago lupulina*, *Verbascum phlomoides*, *Urtica dioica*. Among the wood forms *Betula pendula*, *Robinia pseudoacacia*, *Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Pinus sylvestris* *Populus nigra*, *Alnus glutinosa*, *Carpinus betulus* predominated. Among the rare plants we identified the accumulation of *Iris sibirica* in some meadow-swamp areas. The scheme of the park has been developed and the starting points at which flora reproduction is planned to be identified.

**Conclusions.** The species composition of the phytocenosis showed the predominance of invasive vegetation species in some areas of the park. The growth sites of the endangered species of *Iris sibirica* have been found, and in the future will allow to design new ecological trails in the park and to reintroduce it to other suitable sites. The data obtained will allow to develop a scheme of restoration of the original floral biodiversity in the park, taking into account the identified features.

**KEYWORDS:** flora, rare plants, “revailing”, territorial restoration, Beremitske

Гончарук О. М.<sup>1</sup>, Кукуруза О. Є.<sup>1</sup>, Потрохов А. О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ЧП «Лотос К»

<sup>2</sup> Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України

### СОСТОЯНИЕ ФИТОЦЕНОЗА В ПАРКЕ ПРИРОДЫ «БЕРЕМИЦКОЕ»

**Цель.** Ботанический анализ имеющейся растительности на территории парка природы «Беремицкое» для дальнейшего районирования и выделения отдельных территорий, на которых планируется воссоздание первоначального состояния фитоценоза.

**Методы.** Полевые методы – анализ таксономического состава флоры на территории парка, картографические методы – районирование территории и исторический анализ использования земель парка бывшими землевладельцами.

**Результаты.** Проведенный мониторинг флоры показал, что на исследуемых территориях преобладали адвентивные и синантропные виды, в частности на лугово-степных участках преобладала инвазионная и Синантропная растительность, представлена *Ambrosia artemisiifolia*, *Asclepias syriaca*, *Amaranthus retroflexus*, *Arctium lappa*, *Sonchus arvensis*, *Tanacetum vulgare*, *Medicago lupulina*, *Verbascum phlomoides*, *Urtica dioica* *Pinus sylvestris* *Populus nigra*, *Alnus glutinosa*, *Carpinus betulus*. Среди редких растений выявлены скоплением. Среди деревянных форм преобладали *Betula pendula*, *Robinia pseudoacacia*, *Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Iris sibirica*, на отдельных щелочно-болотных участках. Разработана схема парка и определены начальные точки, на которых планируется воссоздание флоры.

**Выводы.** Видовой состав фитоценоза показал преобладание инвазионных видов растительности в отдельных участках парка. Найденные места произрастания исчезающего вида *Iris sibirica*, в дальнейшем позволят спроектировать новые экологические тропы на территории парка и провести реинтродукцию на другие подходящие участки. Полученные данные позволят разработать схему восстановления первоначального флористического биоразнообразия на территории парка с учетом выявленных особенностей.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** флора, редкие растения, «ревайлдинг», восстановление территорий, «Беремицкое»

## Вступ

Останнім часом в Україні спостерігається тенденція до скорочення видового різноманіття та зникнення типових природних біотопів. Цьому процесу активно сприяють деградація ґрунтів, тривале антропогенне навантаження, нераціональне використання природних ресурсів. Всі ці фактори призводять до руйнації крихкого екологічного балансу та зникнення багатьох видів тварин та рослин, як в Україні так і в цілому у світі. Звільненні екологічні ніші активно займаються агресивними адвентивними видами, що здатні швидко поширюються та витісняти автохтонні.

Для протидії цим негативним тенденціям створюються природоохоронні об'єкти. Основною їх метою є збереження та захист

рідкісних та зникаючих видів та видових угруповань. На законодавчому рівні в Україні запроваджена концепція розвитку заповідної справи, що передбачає зростання та оптимізацію територій та об'єктів природно заповідного фонду (ПЗФ) та підвищення їх суспільного значення (Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 лютого 2006 р. № 70-р). Згідно цієї концепції основними завданнями об'єктів ПЗФ є забезпечення охорони біологічного різноманіття, типових та унікальних екосистем і ландшафтів, підтримання екологічної рівноваги, створення баз для проведення наукових досліджень, моніторингу стану навколишнього природного середовища, проведення екологічного виховання громадян.



Чернігівська область є унікальним регіоном, де зростають численні види рослин, багато з яких занесені до регіональної Червоної книги та Червоної книги України.

У зв'язку з чим існує велика необхідність відновлення та збереження заповідного природного фонду області [1-3].

На території Чернігівської області функціонують різноманітні об'єкти ПЗФ. Зокрема, Національні природні парки «Ічнянський» та «Межинський», регіональні ландшафтні парки «Міжріччинський», «Ялівщина», «Ніженський», дендропарки, а також в області розташовані численні заказники, заповідні урочища, пам'ятки природи [4]. Нажаль, через низку різного роду проблем, вони не завжди можуть ефективно виконувати свої функції, а їх кількість є недостатньою.

Альтернативним шляхом захисту та відновлення біологічного різноманіття є створення так званих «ревайлдинг парків», в яких поступово, під наглядом людини, проходять процеси відновлення типової для конкретного регіону флори та фауни. Останнім часом в світі ця практика набуває все більшого поширення [5-7]. «Ревайлдинг» є довготривалим та кропітким процесом, який складається з декількох основних етапів. В його основі лежить поступове відновлення занедбаних територій та їх повернення до первісного стану. Під людським контролем розробляються та впроваджуються технології, що дозволяють максимально ідентично відтворити та відновити первісний стан місцевості та повернути в природу автохтонні види, які були притаманні на певних територіях до моменту активного втручання людини в екосистему [5-7]. На

#### Об'єкти та методи дослідження

Парк природи «Беремицьке» геоботанічно відноситься до Європейської широколистяної області, округу Чернігівсько-Новгород-Сіверського Полісся, району остерських зелено-мохових соснових лісів. Оскільки частина парку розташована на колишніх орних землях КСП «Колос» у програму досліджень включено аналіз історич-

початкових етапах «ревайлдингу» аналізують склад наявних ботанічних угруповань на території, що підлягає відновленню. Окрім цього, у разі необхідності, застосовують комплекс заходів по поновленню продуктивності ґрунтового покриву [8, 9]. Після детального аналізу усіх складових проводять процеси поступового повернення в природу флори та фауни, які були притаманні конкретному регіону до моменту початку активного антропогенного впливу людини. При виборі видів для розмноження в «ревайлдинг парках», перш за все, керуються критеріями автохтонності, а у разі неможливості відтворення корінних видів, перевагу надають схожим або аналогічним видам, що займають певні екологічні ніші. Зараз у світі реалізуються декілька великих проектів пов'язаних з відновленням територій, а саме у Росії, Нідерландах, США, Бразилії, Аравії [10-16]

Зважаючи на світові тенденції, Україна також долучилася до створення «ревайлдинг парків». З 2017 року в Козелецькому районі Чернігівської області поряд з селом Беремицьке, розпочав свою роботу парк природи «Беремицьке». На базі парку планується відновити первісний стан флори та фауни та повернути в природу корінні види рослин та тварин, що були притаманні в епоху плейстоцена та неогена для території Чернігівського Полісся.

Мета роботи – дослідження ботанічних угруповань на території парку «Беремицьке», для подальшого визначення основних початкових опорних точок для процесу відновлення території.

них відомостей про використання земель колишніми землевласниками та картування досліджуваного району на основі отриманих даних. Для аналізу складу фітоценозу проведено польові дослідження по визначенню таксономічного складу флори на території парку.

#### Результати дослідження

На початкових етапах схема парку розроблена з використанням отриманих даних від колишніх землевласників КСП «Колос» (рис1, рис.2).

Після створення картосхеми, проведе-

но польовий аналіз і таксономічне визначення наявних ботанічних видів та угруповань. В результаті якого виділено основні ботанічні форми представленої рослинності.

Серед багаторічних та однорічних трав'яних рослин визначенні родини (кількість видів вказано в дужках):

*Alismataceae* (1), *Alliaceae* (1), *Amaranthaceae* (1), *Apiaceae* (4), *Asclepiadaceae* (2),

*Asparagaceae* (1), *Asteraceae* (35), *Balsaminaceae* (1), *Boraginaceae* (8), *Brassicaceae* (3), *Campanulaceae* (3), *Cannabaceae* (2), *Caryophyllaceae* (4), *Chenopodiaceae* (2),

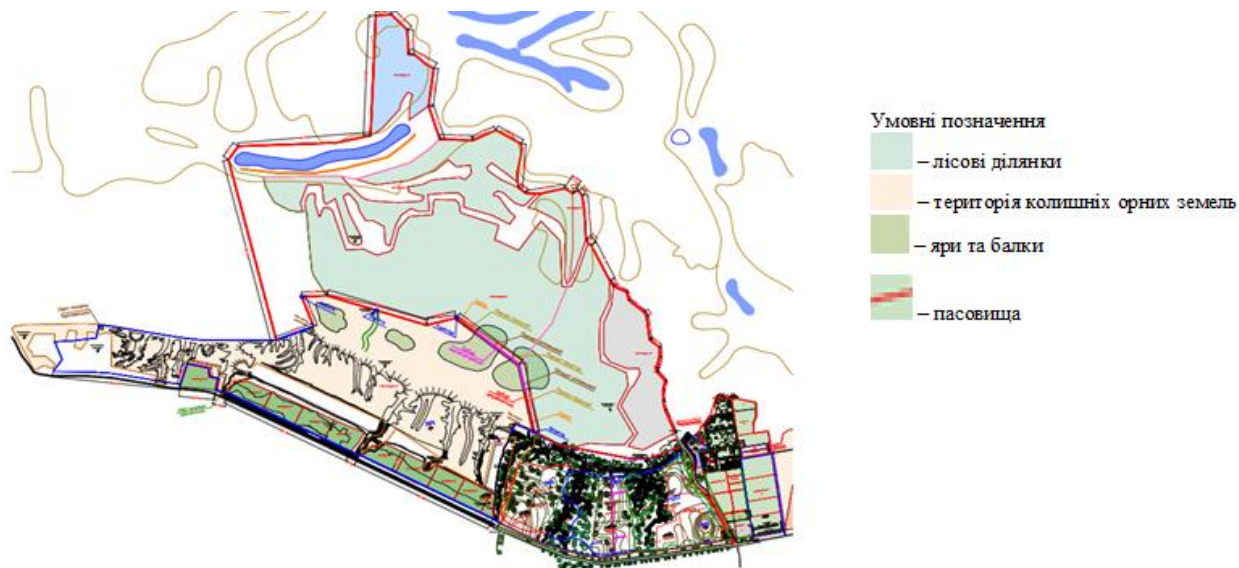


Рис. 1 – Загальна схема парку



А – опорна ділянка №1; Б – опорна ділянка №2; В – опорна ділянка №3

Рис. 2 – Схема розміщення опорних ділянок на території парку «Беремицьке»

*Convolvulaceae* (2), *Crassulaceae* (1), *Cyperaceae* (2), *Dipsacaceae* (3), *Equisetaceae* (1), *Euphorbiaceae* (1), *Fabaceae* (9), *Gentianaceae* (1), *Geraniaceae* (3), *Hypericaceae* (1), *Iridaceae* (1), *Juncaceae* (1), *Lamiaceae* (7), *Liliaceae* (2), *Malvaceae* (3), *Menyanthaceae* (1), *Onagraceae* (4), *Orchidaceae* (1), *Papaveraceae* (1), *Plantaginaceae* (2), *Poaceae* (11), *Polygonaceae* (4), *Primulaceae* (1),

*Ranunculaceae* (3), *Rosaceae* (4), *Rubiaceae* (2), *Scrophulariaceae* (6), *Solanaceae* (1), *Typhaceae* (1), *Urticaceae* (1), *Violaceae* (2).

Напівкущі та кущі представлені: *Caprifoliaceae* (*Sambucus nigra*, *S. Racemosa*, *Viburnum opulus*) *Corylaceae* (*Corylus avellana*), *Fabaceae* (*Cytisus ruthenicus*, *Genista tinctoria*), *Rosaceae* (*Rosa rugosa*, *Rubus caesius*, *R. idaeus*), *Solanaceae* (*S. dulcamara*)

Серед дерев переважали представники родин: *Aceraceae* (*A. negundo*, *A. platanoides*), *Betulaceae* (*Alnus glutinosa*, *B. pendula*), *Corylaceae* (*C. betulus*), *Fabaceae* (*Robinia pseudo-acacia*), *Fagaceae* (*F. Sylvatica*, *Quercus robur*), *Pinacea* (*Picea abies*, *Pinus sylvestris*), *Rosaceae* (*Malus domestica*), *Salicaceae* (*Populus nigra*, *P. tremula*, *Salix caprea*), *Tiliaceae* (*T. cordata*), *Ulmaceae* (*U. glabra*).

Окрім того знайдено два види папоротеподібних: *Athyrium filix-femina* та *Pteridium aquilinum*.

Серед представлених видів на території парку нами визначенні адвентивні та синантропні серед яких переважали: *Ambrosia artemisiifolia*, *Asclepias syriaca*, *Amaranthus retroflexus*, *Arctium lappa*, *Sonchus arvensis*, *Tanacetum vulgare*, *Medicago lupulina*, *Verbascum phlomoides*, *Urtica dioica*

На лучних ділянках знайдено значні скупчення *Iris sibirica*.

Після проведення моніторингу рослинного наявного ботанічного біорізноманіття виділено декілька опорних ділянок (рис 3.).

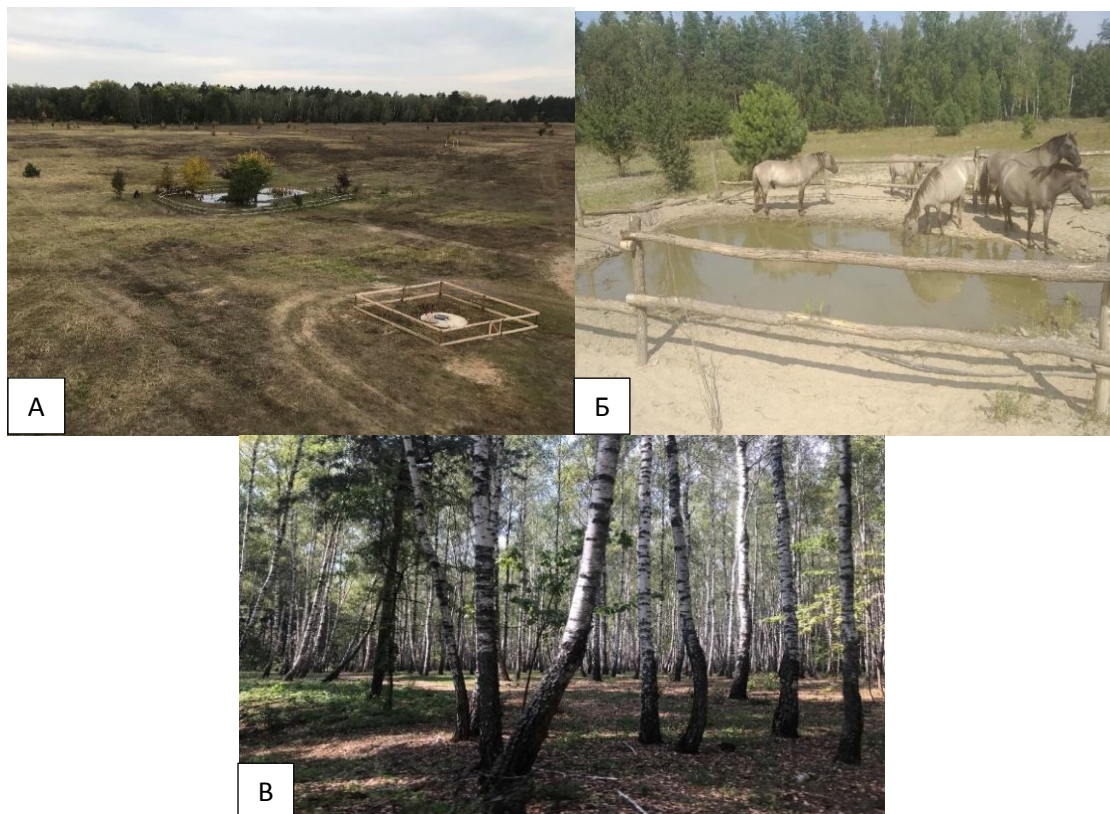


Рис 3 – Опорні ділянки: А–опорна ділянка №1; Б – опорна ділянка №2; В – опорна ділянка №3.

Виділенні ділянки відрізнялися за своїм ботанічним складом та мали ряд відмінностей. До 1999 року ділянки №1 та №2 використовувалися КСП «Колос», як орні землі. Пізніше активна сільськогосподарська діяльність на цих ділянках була призупинена, проводили лише викошування травостою. Ділянка №3 була заліснена та не мала статусу орної землі. Вважаємо, що вибрані ділянки дадуть змогу відпрацювати основні методи «ревайлдінга» за початково різних умов для подальшого їх використан-

ня на території всього парку. До переваг обраних ділянок можна віднести і їх географічне розташування поряд з адміністративною частиною парку, що дозволить оперативніше контролювати процес відновлення. Планується, що ці ділянки мають стати резерватами автохтонних видів Чернігівського Полісся на території парку природи «Беремицьке». Перед початком основних робіт заплановано проведення моніторингу стану ґрунтів для створення детальної ґрунтової карти.



## Висновки

Польові дослідження таксономічного складу рослинності показали, що на значній території парку переважає інвазійна та синантропна рослинність представлена *Ambrosia artemisiifolia*, *Asclepias syriaca*, *Amaranthus retroflexus*, *Arctium lappa*, *Sonchus arvensis*, *Tanacetum vulgare*, *Medicago lupulina*, *Verbascum phlomoides*, *Urtica dioica*, які є типовими представниками рослинності на ділянках, що активно використовувались в сільському господарстві. У заліснених ярах та балках, а також в лісовій частині серед дерев'яних форм переважали *Betula pendula*, *Robinia pseudoacacia*, *Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Populus nigra*, *Alnus glutinosa*, *Carpinus betulus*. Рідкісні рослини з Червоної Книги України представлені скупченням *Iris sibirica*, на

окремих лучно-болотних ділянках. Отриманні дані дозволять розробити схему відновлення первісного флористичного біорізноманіття на території парку з урахуванням виявлених особливостей.

На основі архівних даних та складеної схеми парку та польових дослідженнях визначено опорні ділянки, які в подальшому мають стати екологічними ядрами відновлення флористичного біорізноманіття.

## Подяка

За надану архівну інформацію колектив авторів висловлює подяку агроному КСП «Колос» Сироїжко А. В., а також співробітникам та адміністрації парку Сидак В.Л. та Ферльовській Т. В. за можливість працювати на території парку та всебічну підтримку проекту.

## Конфлікт інтересів

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

## Література

1. Дідух Я. П. Червона книга України. Рослинний світ. Київ: «Глобалконсалтинг». 2009.
2. Андрієнко Т. Л. Рідкісні та корисні рослини флори Чернігівщини в природі та культурі. Київ: Фітосоціоцентр. 1997.
3. Андрієнко Т. Л., Лукаш О. В., Прядко О. І. та ін. Рідкісні види судинних рослин Чернігівщини та їх представленість на природно-заповідних територіях області. *Заповідна справа в Україні*. 2007. Т. 13. Вип. 1-2. С. 33-38.
4. Департамент екології та природних ресурсів Чернігівської обласної адміністрації. Звіт про стан ПЗФ в Чернігівській області в 2019 році URL: <http://eco.cg.gov.ua/index.php?id=16893&tp=1&pg=>
5. Hoogendoorn G., Meintjes D., Kelsom C., Fitchett J. (2019) Tourism as an incentive for rewilding: the conversion from cattle to game farms in Limpopo province, South Africa. *Journal of Ecotourism*, 2019. Vol.18. No 4. P. 309-315. DOI: 10.1080/14724049.2018.1502297
6. Hall Michael C. (2019) Tourism and rewilding: an introduction – definition, issues and review. *Journal of Ecotourism*. 2019. Vol. 18. No 4. P. 297-308. DOI: 10.1080/14724049.2019.1689988.
7. Lorimer C., Sandom P., Jepson C., Doughty Kirby M.. Rewilding: Science, practice, and politics. *J Annual Review of Environment and Resources*. 2015. № 40. P. 39-62. DOI: 10.1146/annurev-environ-102014-021406.
8. Дацько Л. В., Майстренко М. І. Екологічні та економічні аспекти сталого землекористування для відтворення родючості ґрунтів. *Охорона родючості ґрунтів*. 2012. № 8. С. 24-39.
9. Коніщук В. В., Коніщук М. О., Булгаков В. П., Бобрик І. В., Руденко О. М., Онук Л. Л., Скакальська О. І., Кирничішин О. Р. Родючість ґрунтів та шляхи збереження їх екологічної стійкості в Чернігівському Поліссі. *Агроекологічний журнал*. 2015. № 1. С. 76-83.
10. Яценко П.Т., Надорожняк О. Я. Сильватизація як процес і фактори ренатуралізації природних екосистем Західного Полісся. *Лісівницькі дослідження в Україні*. 2003. Т. 3. Вип. 13. С.171-175.
11. Левыкин С. В., Чибилёв А. А., Казачков Г. В., Яковлев И. Г., Чибилёва В. П., Грудинин Д. А. Концепция территориальной охраны новосибирского архипелага на основе развития идей ревайлдинга и плейстоценового парка. *Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН* (электронный журнал). 2017. №4. URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2017-4/Articles/LSV-2017-4.pdf>
12. Donlan C. J. et al. «Pleistocene Rewilding»: an optimistic agenda for twenty-first century conservation». *The American Naturalist*. 2006. No1. P. 22.
13. Svenning, J. C. A review of natural vegetation openness in north-western Europe. *Biological Conservation*. 2002. No 104. P. 133-148.

14. Rubenstein, D., Rubenstein D., Sherman W., Gavin T. Pleistocene Park: Does re-wilding North America represent sound conservation for the 21st century? *Biological Conservation*. 2006. Vol. 132. No 2. P.232-238.
15. Galetti, M. Parks of the Pleistocene: Recreating the cerrado and the Pantanal with megafauna. *Natureza e Conservação*. 2004. Vol. 2 . No 1. P.93–100.
16. Pellis A. Reality effects of conflict avoidance in rewilding and ecotourism practices the case of Western Iberia. *Journal of Ecotourism*. 2019. Vol. 18. No 4. P. 316-331 DOI: 10.1080/14724049.2019.1579824

### References

1. Didukh, Y. (2009). *Red Book of Ukraine. Plant life*. Kiev. Global Consulting. (In Ukrainian).
2. Andrienko, T. (1997). *Rare and useful flora plants of Chernihiv region in nature and culture*. Kiev. Phytosociocenter. (In Ukrainian).
3. Andrienko, T. L., Lukash, O. V., Pryadko, O. I. et all (2007). Rare species of vascular plants of Chernihiv region and their presence in the nature reserves of the region. *Conservation business in Ukraine*, 13(1-2), 33-38. (In Ukrainian).
4. Department of Ecology and Natural Resources of Chernihiv Regional Administration. Report on the state of the PFP in the Chernihiv region in 2019. Retrieved from <http://eco.cg.gov.ua/index.php?id=16893&tp=1&pg=> (In Ukrainian).
5. Hoogendoorn, G., Meintjes, D., Kelsom, C. & Fitchett, J. (2019). Tourism as an incentive for rewilding: the conversion from cattle to game farms in Limpopo province, South Africa. *Journal of Ecotourism*, 18(4), 309-315. <https://doi.org/10.1080/14724049.2018.1502297>
6. Hall, Michael C. (2019). Tourism and rewilding: an introduction – definition, issues and review. *Journal of Ecotourism*, 18(4), 297-308. <https://doi.org/10.1080/14724049.2019.1689988>
7. Lorimer, C., Sandom, P., Jepson, C. & Doughty Kirby, M. Rewilding: Science, practice, and politics (2015). *J. Annual Review of Environment and Resources*, (40), 39-62. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102014-021406>
8. Datko, L.V. & Maistrenko, M. I. (2012). Ecological and economic aspects of sustainable land use for soil fertility reproduction. *Soil fertility protection*, (8), 24-39. (In Ukrainian).
9. Konischuk, V. V, Konishchuk, M. O, Bulgakov, V. P, Bobryk, I. V., et all (2015). Soil fertility and ways of preserving their ecological stability in Chernihiv Polissya. *Agro-ecological journal*, (1), 76-83. (In Ukrainian).
10. Yashchenko, P. & Nadorozhnyak, O. (2003). Silvation as a process and factors of renaturalization of natural ecosystems in Western Polesie. *Forest Research in Ukraine, Scientific Bulletin*, 3 (13), 171-175. (In Ukrainian).
11. Levykin, S., Chibilev, A., Kazachkov, G., Yakovlev, I., Chibileva, V. & Grudinin, D. (2017). The concept of territorial protection of the Novosibirsk archipelago based on the development of ideas of rebuilding and Pleistocene park. *Bulletin of the Orenburg Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*, (4). Retrieved from <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2017-4/Articles/LSV-2017-4.pdf> (In Russian).
12. Donlan, C. J. et al. (2006). «Pleistocene Rewilding»: an optimistic agenda for twenty-first century conservation». *The American Naturalist*, (1), 22.
13. Svenning, J. C. (2002). A review of natural vegetation openness in north-western Europe. *Biological Conservation*, (104), 133-148.
14. Rubenstein, D., Rubenstein, D., Sherman, W. & Gavin, T. (2006). Pleistocene Park: Does re-wilding North America represent sound conservation for the 21st century? *Biological Conservation*, 132(2), 232-238.
15. Galetti, M. (2004). Parks of the Pleistocene: Recreating the cerrado and the Pantanal with megafauna. *Natureza e Conservação*, 2 (1), 93–100.
16. Pellis, Arjaan (2019). Reality effects of conflict avoidance in rewilding and ecotourism practices the case of Western Iberia. *Journal of Ecotourism*, 18(4), 316-331. <https://doi.org/10.1080/14724049.2019.1579824>

## ЕКОЛОГІЧНА ОСВІТА

УДК (UDC) 140.8:5

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-22-10>

**М. М. НАЗАРУК**, д-р геогр. наук, проф.  
Львівський національний університет імені Івана Франка  
вул. Дорошенка, 41, 79000, Львів, Україна

e-mail: [mm.nazaruk@gmail.com](mailto:mm.nazaruk@gmail.com)

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1210-9666>

### СОЦІОПРИРОДНИЙ ПІДХІД ДО ЕКОЛОГІЧНОЇ ОСВІТИ ТА ВИХОВАННЯ

**Мета.** Дослідження генези та впровадження соціоприродного підходу до екологічної освіти та виховання. Виявлення новітніх тенденцій та гуманізації екологічних знань, врахування специфіки соціоприродних систем в екологічній освіті.

**Результати.** Автор підкреслює, що реалії людського буття мають соціоприродне походження, яке розділене на два автономні блоки природознавство та соціогуманітарію. Осмислення специфіки цілісності суспільства та природи має тривалу історію в українській науці. Аналізуються творчі пошуки в даній царині І. Франка, С. Подолінського, В. Вернадського. Особлива увага звернута на соціоекологічні дослідження Г. Бачинського, який обґрунтував необхідність окремої науки про гармонізацію відносин суспільства та природи – соціоекології. Аргументував принципи її формування, закони, понятійний апарат. Поява міждисциплінарного напрямку зумовила потребу у обґрунтуванні соціоприродного підходу до екологічної освіти та виховання.

**Висновки.** Саме соціоприродний підхід пов'язаний і відповідає поняттям сталого розвитку та соціальної практики людства.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** екологічна освіта, виховання, соціоекологія, соціоприродний підхід, Г.Бачинський

**Nazaruk M. M.**

*Ivan Franko National University of Lviv*

### **SOCIO-NATURAL APPROACH TO THE ENVIRONMENTAL EDUCATION AND TRAINING**

**Purpose.** To study genesis and introduction of socio-natural approach to environmental education and training. Identification of the modern trends and humanization of ecological knowledge, taking into account the features of socio-natural systems in environmental education.

**Results.** The author emphasizes that the realities of personal well-being have socio-natural origin which is divided into two autonomous units: nature sciences and socio-humanity. Comprehension of specificity of society-and-nature integrity has a long history in the Ukrainian science. The author has analysed creative features of this idea in works published by I. Franko, S. Podolyns'ky, V. Vernadsky. Special attention is paid to G. Bachynsky's socioecological researches who substantiated the necessity of separate science about harmony of society-nature relations – socio-environmental sciences. He gave reasons for the principles of its formation, laws, conceptual system. The appearance of interdisciplinary tendency has caused the need in substantiation of socio-natural approach to environmental education and training.

**Conclusion.** The socio-natural approach is satisfied the concept of sustainable development and social practice of humanity.

**KEYWORDS:** environmental education, training, socio-environmental sciences, socio-natural approach, G. Bachyns'ky

**Назарук Н. Н.**

*Львовский национальный университет имени Ивана Франко*

### **СОЦИОПРИРОДНЫЙ ПОДХОД К ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ ОБРАЗОВАНИЮ И ВОСПИТАНИЮ**

**Цель.** Исследовать генезис и пути внедрения социоприродного подхода к экологическому образо-

© Назарук М. М., 2019



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/).



ванню и воспитанию. Выявление новых тенденций и гуманизации экологических знаний, учет специфики социоприродных систем в экологическом образовании.

**Результаты.** Автор подчеркивает, что реалии человеческого бытия имеют социоприродное происхождение, которое разделено на два автономных блока: естествознание и социогуманитарный. Осмысление специфики целостности общества и природы имеет длительную историю в украинской науке. Анализируются творческие поиски в данной области И. Франко, С. Подолинского, В. Вернадского. Особое внимание обращено на социоэкологические исследования Г. Бачинского, который обосновал необходимость отдельной науки о гармонизации отношений общества и природы — социоекологии. Аргументировал принципы ее формирования, законы, понятийной аппарат. Появились междисциплинарные направления, которые потребовали обоснования социоприродного подхода к экологическому образованию и воспитанию.

**Вывод.** Именно социоприродный подход связан и соответствует сути устойчивого развития и социальной практике человечества.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** экологическое образование, воспитание, социоекология, социоприродный подход, Г. Бачинский

### Вступ

Зрілість науки чи іншого напрямку будь-якої країни в конкретно визначений період великою мірою визначається рівнем системності знань у певній галузі, коли є підстава говорити про те що склалася наукова школа, яка вирізняється сукупністю якісних ознак. Власне з цих методологічних позицій потрібно підходити і до визначення соціоекологічної школи, яка сформувалася у нашій державі, хоча за своїми світоглядними витоками вона має глибокі історичні корені, про які, очевидна річ в цій статті немає підстав говорити з науковою докладністю. Однак варто все-таки відзначити, що вчення про гармонізацію взаємовідносин

природи та довкілля завжди було окреслено в життєдіяльності наших предків, яке здійснювалося в благородно – емоційному природному середовищі. Сьогодні назріла гостра потреба осмислення та обставини виникнення прецедентів соціоприродного підходу до вирішення проблем екологічної освіти та виховання.

**Мета.** Дослідження генези та впровадження соціоприродного підходу до екологічної освіти та виховання. Виявлення новітніх тенденцій та гуманізації екологічних знань, врахування специфіки соціоприродних систем в екологічній освіті.

### Виклад основного матеріалу

Для пошуку методологічних орієнтирів у процесі становлення й розвитку парадигми екологічної освіти видається за доцільне звернутися до царини соціоекології, як міждисциплінарної науки, що розглядає проблеми взаємодії людського суспільства та природи. На тісний взаємозв'язок її проблемного поля, пов'язаного із розв'язанням нагальних проблем збереження природи та поліпшення стану довкілля, в відтак – екологічної освіти й виховання. На наше глибоке переконання саме соціоприродний підхід дає можливість ефективно здійснювати екологічну освіту та виховання, утворюючи симбіотичні зв'язки з різними галузями знань. Розробка концепції екологічної освіти, яка відповідала б завданням екологічної кризи та пов'язаної з нею кризи гуманітарної, передбачає аналіз різноманітних наукових концепцій з метою побудови

адекватної моделі, котра відіграла б роль своєї матриці, на якій можна було б створювати дієві екоосвітні проекти. Виходячи з цього, розглянемо особливості соціоприродного підходу до екологічної освіти та виховання.

Всі реалії людського буття мають соціоприродне походження, що недостатньо враховується сучасною наукою, яка й до сьогодні розділена на два автономні блоки: природознавство та соціогуманітарію. Концептуальна інтеграція цих блоків видається магістральним шляхом подальшого розвитку сучасного наукового пізнання. Осмислення специфіки соціоприродних систем, котрими є фактично всі феномени людського світу. Пошуки шляхів відтворення цілісності суспільства та природи почалися ще в Новий час, тобто у період формування сучасної науки і тривають дотепер.

Очевидно, саме такого типу наукові здобутки мав на увазі І.Я.Франко, коли твердив, що розвиток суспільства і природи становить єдине ціле. «Демократична людська історія, писав І.Я.Франко у 1881р., – зискує новішими часами нову сильну підпору, якої не мали історії попередні, зискує такого союзника, котрий приготував для неї найтривалішу основу, Сей союзник – науки природничі. Їх величезний, нечуваний розвиток у другій половині нашого століття не може не постати без великого впливу на всі інші галузі людського знання, а за тим і на історію в найширшій значенні того слова. Вказуючи всюди єдність природи, єдність її законів у всіх найрізноманітніших проявах, науки природничі підтягли й чоловіка, й суспільність людську під ті самі закони, навчили його вважатись заодно з природою, й прямим твором, фазою в розвитку загально-природного життя» [1].

Наведені тут слова мають глибокий зміст, бо підкреслюють органічність розвитку людини, суспільства, цивілізації із зовнішньою природою, єдність їх законів, які матеріалісти – діалектики роз'єднували на закони природи і закони суспільства. Характерно, що наукове узагальнення І. Я. Франка співпадає з науковим відкриттям С. А. Подолинського, яке довго залишалося призабутим і аж у 20-х роках ХХ століття до нього звернулися вчені, зокрема славетний український природознавець світової ваги В.І.Вернадський. Провівши глибокий аналіз взаємодії людини і природи, вчений дійшов висновку про те, що «загальна кількість енергії, одержуваної поверхнею землі з її внутрішності та від сонця, постійно зменшується. В той же час загальна кількість енергії, яка нагромаджена на земній поверхні і яка перебуває в розпорядженні людства постійно збільшується. Це збільшення відбувається під впливом праці людини і домашніх тварин [6]. В своїй праці С. А. Подолинський перший у світі пов'язав еколого-економічну діяльність людей з природно-космічними процесами.

Ознайомившись з дослідженнями С.А.Подолинського, видатний природознавець В.Вернадський назвав його вченим-новатором, який самостійно підійшов до з'ясування ролі праці в розподілі енергії і зрозумів усе значення його праці яку вважають передвісником теорії енергетичної економії, що є органічністю взаємодії лю-

дини і природи. В.І.Вернадський не тільки позитивно оцінив наукове новаторство свого співвітчизника С.А.Подолинського, а й сперся на нього, розробляючи вчення про ноосферу, тобто сферу проникнення людського розуму. Можна сказати, що вчення про ноосферу В.І.Вернадського є далішим розвитком енергетичної теорії С. А. Подолинського, базується на одних і тих же засадах органічності людини й природи, містить однакові практичні рекомендації.

«Цей момент потрібно відзначити, бо нерідко знавці творчості В.І.Вернадського, які не обізнані з дослідженнями С. А. Подолинського, відривають її від джерел формування, а отже й приходять до не завжди точних у науковому сенсі узагальнень і висновків. Та найголовніше, що через незнання розривається генетична сув'язь становлення енергетичної теорії органічності розвитку людини і довкілля, що має принципове значення і навіть позначене пріоритетністю української науки» [2].

Прикметним для наукового доробку В.Вернадського є свій власний варіант поєднання природничо-наукового та соціогуманітарного знання, які й до сьогодні є автономними. Прагнучи до повного досягнення світу, до пізнання «усіх октав» його, він вирішував цю надзвичайно важливу й для сучасної методології науки проблему, спираючись на конкретно – наукові факти. Методика узагальнення їх може видатися нині небездоганною, але мета була безсумнівно продуктивною. « Важливим є всепоглинаюче охоплення наук про людину головним елементом природничо-наукового мислення – визнанням закономірності історичних процесів, їх тісного зв'язку із історичним процесом природи, в даному випадку – із змінами у часі нашої планети [3, 172 - 173 ].

Соціально-духовне буття людини є, за В.Вернадським, закономірним продуктом розвитку живого. Історія природи, історія людства та історія духовних звершень людини є цілісним процесом. Якщо жива речовина контролює хімічну міграцію атомів, то розум, наукова думка робить це регулювання свідомим і керованим, надають можливість людині адекватно орієнтуватися у явищах природи й розуміти свою «внутрішню» природу, особливості власної особистості. При всій важливості раціонального природокористування і охорони довкіл-

ля, яке безумовно, має самостійно – автономне значення, особливо актуальним є забезпечення належних умов для життєдіяльності людини. Технологічні, організаційні, економічні схеми, програми, механізми мають доцільність передусім тоді, коли корисними будуть для людини, яка є найдосконалішим творінням природи. Врахування цього аспекту ставало щораз необхіднішим під впливом погіршення якісних параметрів довкілля, в якому винна передусім людина. Саме це примусило дослідників активізувати свої наукові пошуки в напрямі виявлення причинно-наслідкових зв'язків взаємодії людини і природи. Цю проблему сьогодні мусимо розглядати не з позиції вузького розуміння завдань охорони довкілля, а в цілому комплексі соціальних, політичних, економічних та духовних проблем.

Цей спектр наукових ідей, безумовно, з самого початку збагатив українську науку, представники якої щораз частіше не обмежувалися вивченням природокористування технічними і економічними засобами, а намагалися олюднити цей процес, враховуючи постійну присутність людини не тільки із своїми матеріальними потребами, але й знаннями, емоціями, культурою. Потрібно визнати, що в такому ракурсі ця проблема ставилася ще у 20-х роках у США, потім її підхопили і розвивали російські екологи. Однак потрібно визнати і те, що наші вчені у визначенні система «людина – природа» незабаром про себе заявили і навіть прагнули захопити лідируючі позиції. Це передусім стосується соціоекологічних досліджень Г.О. Бачинського, який на початку 80-х років ХХ століття виступив завзятим прихильником соціоекології – науки про взаємодію з природою. Пізніше протягом усього життя відстоював соціоекологію, спричинившись до першої Всесоюзної конференції «Проблеми соціальної екології», що відбулася у жовтні 1986р.у Львові. У своїй доповіді на цій конференції Г.О.Бачинський доводив, що необхідна окрема наука про гармонізацію взаємин між суспільством і природою. Такою наукою повинна бути соціоекологія, бо вона володіє арсеналом теоретичних і практичних засобів обґрунтування гармонійної взаємодії між суспільст-

вом і природою на основі раціонального природокористування. Він чимало зробив для надання аргументованості обраної ним науки, формуванню її принципів, законів, понятійного апарату. Він стверджував, що соціоекологія повинна розвиватися таким чином, щоб враховувати не лише взаємозв'язки природних компонентів, але й умови існування, господарювання та етнокультурні традиції населення соціоекосистем. При цьому треба мати на увазі, що перехід до стратегії гармонійної взаємодії людського суспільства та природи можливий тільки при належному усвідомленні функцій людини та її практики в сучасній еволюції біосфери. Особливо підкреслював важливість соціо-природного підходу до екологічного освіти та виховання.

Професор О. Шаблій розглядає соціальну екологію – як наукову дисципліну в системі екологічної науки («мегаекології», «великої екології»), що вивчає закономірності і проблеми взаємодії «живої речовини» (за В. І. Вернадським) у її різних проявах (у т.ч. соціальній, суспільній) у навколишньому середовищі. Розвиваючи тлумачення соціоекології О. Шаблій стверджує: «соціоекологія – це наука, що досліджує структурно – функціональні закономірності взаємодії людини як соціальної істоти з навколишнім середовищем, у т.ч. природним і соціальним. Зокрема вона вивчає організацію, тобто структуру і функціонування соціоекосистем різного рівня і складності» [8]. На нашу думку, соціоекологію доцільно визначати як науку про сучасний стан формування довкілля з історичним розвитком та конструювання оптимальних стосунків між суспільством та природою. Професор Е. П. Семенюк зазначає «Саме назва цієї галузі науки свідчить, зрештою, про її органічний зв'язок з соціальною практикою людства. Із огляду на це швидке поширення в соціоекології різноманітних пізнавальних інструментів високого рівня інтегративних можливостей теж є характерним: адже вони народжуються не лише потребами розвитку самого наукового знання, але й важливими сучасними тенденціями суспільного життя в усій його повноті» [6].

Поява сьогодні міждисциплінарного напрямку, який об'єднує представників

природничих і технічних наук, філософів і гуманістів, зумовлена не тільки теоретичними засадами теорії взаємодії суспільства і природи, а й потребами соціальної практики в конкретніших наукових дослідженнях, зокрема регіонального і локального характеру [10-16]. Розробка концепції екоосвіти має здійснюватися на основі міждисциплінарного підходу, інтегруючи знання різних наук. Після інтеграції в цілісну концептуальну систему можлива її експансія в найрізноманітніші галузі навчально-виховної, професійно-виробничої діяльності чи то у сферу ухвалення політичних рішень. Люди, котрі залучені в освітній процес, повинні глибоко усвідомлювати й постійно пам'ятати, що екологічні проблеми є вельми складними і не можуть охоплюватися однією дисципліною. Саме такі підходи повинні стати основою впровадження екологічної освіти для всіх категорій населення, які чітко і багатогранно пов'язані із поняттям сталого розвитку. Світова громадськість, наукова думка, політики 179 країн у Ріо де Жанейро 1992 р. прийняли фундаментальний документ «Програма дій. Порядок денний на ХХст.». Там особливо наголошено на тому, що ця проблематика має розглядати комплексно і системно питання охорони навколишнього природного середовища, охорони здоров'я людини, здорової економіки для всіх людей на планеті. Тому, сьогодні питання охорони не можемо розглядати суто галузево, профільно, а в тісному зв'язку зі всім комплексом виробничої діяльності. Особливо виокремлюються питання свідомості, освіченості, культури і духовності. Сучасна складна соціоприродна система, не здатна функціонувати за закономірностями як «дикої» природи, так і «чистого» соціуму. У такій системі домінують нові закономірності, які еволюціонують з розвитком економіки, політики, культури, науки, технології. В сучасних реаліях екологічні проблеми вийшли за межі суто природничо-наукових, і сучасне суспільство вже не задовольняється самим лише науковим дослідженням стану довкілля та його окремих компонентів, а потребує загальніших і глибших рефлексій над зв'язками між людиною та довкіллям і наслідками, що при цьому виникають. Більшість дослідників солідарні у тому, що статус екології помітно відрізняється від статусу природничих наук, наводячи при

цьому найрізноманітніші пояснення цього феномену. За умов погіршення стану довкілля й зростання ймовірності екологічних ризиків, а також посилення внутрішньої психологічної напруги, змінюється ставлення людини до навколишнього світу, сприйняття його окремих компонентів. Людина вже не може жити за усталеними стереотипами, а повинна самостійно приймати конкретні рішення, які б убезпечували її та близьких від негативних впливів довкілля, виявляти готовність до певних дій, мобілізувати свої інтелектуальні, моральні, психологічні, духовні ресурси. Нова ситуація в системі координат «природа – суспільство» ставить питання не лише про освіту й розвиток знань і здібностей дітей чи студентів у традиційних освітніх закладах, а й про включення у сферу значно ширшого загалу населення, а також інституцій, що беруть участь в освіті. Надзвичайно гостро постає питання про непевну й всеохоплюючу екоосвіту, яка відповідала б потребам пошуку відповідей на постійні екологічні виклики. В таких умовах виникає необхідність в процесі екологічної освіти та виховання враховувати наступні підходи:

- тільки соціоекологічний підхід дає можливість пояснити екологічні проблеми, які є результатом взаємодії об'єктивних закономірностей розвитку пізнавальної діяльності та соціокультурних чинників відповідної епохи;

- соціокультурна та загально людська значущість соціоприродної взаємодії, яка має не лише науково – природничий, а й соціальний і морально – етичний аспекти, що спонукає до глибшого осмислення сучасності й майбутніх перспектив розвитку людства;

- суспільно-політична значущість, коли ті чи інші проблеми, які виникають унаслідок зміни якості довкілля, посилення екологічних ризиків, зменшення доступів до біоресурсів тощо, викликають значний політичний резонанс і вимагають відповідних рішень;

- суб'єктивні чинники (наприклад авторитет людей, які виступають популяризаторами екологічних знань чи очолюють екологічні організації) дозволяють отримувати додаткове фінансування на здійснення різноманітних досліджень чи сподіватися на суспільну підтримку програм і проєктів, сформульованих під «екологічними гаслами».

Тому екологічна освіта не може зупинятися на стадії поінформованості (навчання), а мусить виходити на складні й вічно проблематичні процеси виховання, цілесп-

рямованого формування особистості. Багато чого залежить від доступності та якості екологічної інформації, способів її подачі та спрямування.

### Конфлікт інтересів

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

### Література

1. Франко І. Зібрання творів у п'ятдесяти томах. К.: Наукова думка, 1986. Т.45. С.79.
2. Долішній М. І., Злупко С. М. Львівська еколого-економічна наукова школа, її світоглядні засади, творчі здобутки і сучасна проблематика. *Регіональна економіка*. 1998. №4. С. 95 – 107.
3. Вернадский В. И. Биосфера и ноосфера. М.:Наука. 1989. 260с.
4. Бачинський Г.О. Соціальна екологія – наука про взаємодію людського суспільства з природою. *Вісник АН УРСР*. 1983. №10. С. 68 -74.
5. Назарук М. М. Соціальна екологія: взаємодія суспільства і природи: навч. посіб. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2013. 348с.
6. Подолинский С. А. Труд человека и его отношение к распределению энергии. *Слово*. Апрель – май 1880. С.211.
7. Семенюк Е. П. Філософські засади сталого розвитку. Львів: Афіша, 2002. 200с.
8. Феномен соціоприродних систем. Світоглядно – методологічні нариси. Монографія. К.: Видавець ПАРАПАН, 2009. 284с.
9. Шаблій О. І. Суспільна географія: теорія, історія, українознавчі студії. Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка, 2001. 744с.
10. Голубець М. А. Вступ до геосоціосистемології. Львів: Поллі, 2005. 199с.
11. Кисельов М. М., Гардашук Т. В., Зарубицький К. Е. та ін. Екологічні виміри глобалізації: монографія. Київ: Видавець ПАРАПАН, 2006. 260с.
12. Маєр-Абіх К. Повстання на захист природи. Від доквілля до спільнотності. Київ: Лібра, 2004. С. 96.
13. Мельник В. П. Філософія. Наука. Техніка: Методолого – світоглядний аналіз монографія. Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка. 2010. 592с.
14. Петлін В.М. Теорія природних територіальних систем: у 4 –х томах. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2016.
15. Семенюк Е. П., Олянишен Т.В., Сеньківський В.М., Мельников О.В., Котляревський Я. В. Екологізація суспільства: соціальна роль та моделювання: монографія. Львів: Укр. Акад. друкарства, 2012. 460 с.
16. Харари Ю.Н. Людина розумна. Історія людства від минулого до майбутнього. Пер. з англ. Я. Лебеденка. Харків: Клуб сімейного дозвілля, 2016. 543с.

### References

1. Franco, I. (1986). *Collection of works in fifty volumes*. Kyiv: Scientific Thought, 45, 79 (in Ukrainian).
2. Dolishny, M. I. & Zludko, S. M. (1998). Lviv Ecological and Economic Scientific School, its outlook principles, creative achievements and modern problems. *Regional economy*, (4), 95 – 107 (in Ukrainian).
3. Vernadsky, V. I. (1989). *Biosphere and noosphere*. Moscow: Science (in Russian).
4. Bachinsky, G. O. (1983). Social ecology is the science of the interaction of human society with nature. *Bulletin of the USSR Academy of Sciences*, (10), 68 -74 (in Ukrainian).
5. Nazaruk, M. M. (2013). *Social ecology: interaction between society and nature*. Lviv: Ivan Franko National University (in Ukrainian).
6. Podolinsky, S. A. (1880). Human labor and its relation to the distribution of energy. *Word*, April – May, 211 (in Russian).
7. Semeniuk, E. P. (2002). *Philosophical foundations of sustainable development*. Lviv: Playbill (in Ukrainian).
8. *The phenomenon of socio-natural systems. Outline - methodological essays*. (2009). Kyiv: PARAPAN (in Ukrainian).

9. Shabliy, O. I. (2001). *Social geography: theory, history, Ukrainian studies*. Lviv: Lviv National University Ivan Franko (in Ukrainian).
10. Golubets, M. A. (2005). *Introduction to geosociosystemology*. Lviv: Polly (in Ukrainian).
11. Kiselev, M. M., Gardashchuk, T. V., Zarubitsky, K. E. (2006). *Ecological dimensions of globalization: monograph*. Kyiv: PARAPAN (in Ukrainian).
12. Mayer-Abih, K. (2004). *Rebellion for Nature. From the environment to the community*. Kyiv: Libra (in Ukrainian).
13. Melnyk, V. P. (2010). *Philosophy. Science. Technique: Methodological - worldview analysis monograph*. Lviv: Ivan Franko Publishing Center (in Ukrainian).
14. Petlin, V. M. (2016). *The theory of natural territorial systems: in 4 volumes*. Lviv: Ivan Franko National University (in Ukrainian).
15. Semeniuk, E. P., Olyanyshen, T. V., Senkivsky, V. M., Melnikov, A. V. & Kotlyarevsky, Y. V. (2012). *Ecologization of society: social role and modeling*. Lviv: Ukr. Acad. printing (in Ukrainian).
16. Harari, Yu. N. (2016). *The person is smart. The history of mankind from the past to the future*. Translate with English. J. Lebedenko. Kharkiv: Family Leisure Club (in Ukrainian).

Надійшла до редколегії 12.04.2020

Прийнята 15.04.2020



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 (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/> (розмір 10, по центру).

Подати прізвище та ініціали, назву установи, назву статті, анотацію та ключові слова українською, англійською й російською мовами (кожна не менше 1800 знаків): 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.

Нижче подається перелік посилань (**References**), переклад англійською мовою. Посилання необхідно оформляти згідно міжнародного бібліографічного стандарту APA (American Psychological Association).

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](mailto:visnykecology@karazin.ua) [ecology.journal@karazin.ua](mailto: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. 22**

**Збірник наукових праць**

Українською, російською та англійською мовами

Макетування та комп'ютерне верстання  
Баскакова Л. В.

Підписано до друку 05.05.2020 Формат 60 x 84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub> . Папір офсетний.  
Друк ризографічний

Ум. друк. арк. 10,9. Обл.-вид. арк. 12,6  
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