

2022

ISSN 2786-6335 print  
ISSN 2786-6343 online

# Український журнал природничих наук

Ukrainian Journal of Natural Sciences

Український журнал природничих наук



Випуск 2

Випуск 2

2022

Міністерство освіти і науки України  
Житомирський державний університет імені Івана Франка

# **Український журнал природничих наук**

**Випуск 2**

Науковий журнал,  
заснований у 2022 році

Житомир  
2022

Видається за рішенням вченої ради Житомирського державного університету імені Івана Франка  
(протокол №22 від 27.12.2022 року)

**Редакційна колегія**  
**Головний редактор**

**Овчаренко Микола** – habilitований доктор біологічних наук, старший науковий співробітник, Інститут біології та охорони середовища Поморської академії (Слупськ, Республіка Польща)

**Заступник головного редактора**

**Шелюк Юлія** – доктор біологічних наук, професор, Житомирський державний університет імені Івана Франка (Житомир, Україна)

**Відповідальний секретар**

**Пацюк Марина** – кандидат біологічних наук, доцент, Житомирський державний університет імені Івана Франка (Житомир, Україна)

**Члени редакційної колегії**

**Атасарал Шебнем** – доктор наук з технології рибництва, професор, Караденізський технічний університет (Трабзон, Турецька Республіка)

**Балашова Галина** – доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Інститут зрошувального землеробства НААН України (Херсон, Україна)

**Біляєва Ірина** – доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Інститут зрошувального землеробства НААН України (Херсон, Україна)

**Боймуродов Хуснідін** – доктор біологічних наук, професор, Самаркандський інститут ветеринарної медицини (Самарканд, Республіка Узбекистан)

**Власенко Руслана** – кандидат біологічних наук, доцент, Житомирський державний університет імені Івана Франка (Житомир, Україна)

**Воловик Володимир** – доктор географічних наук, доцент, професор, Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського (Вінниця, Україна)

**Гарбар Олександр** – доктор біологічних наук, професор, Житомирський державний університет імені Івана Франка (Житомир, Україна)

**Жовнерчук Ольга** – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, Інститут зоології ім. І. І. Шмальгаузена НАН України (Київ, Україна)

**Зайонц Гадеуш** – доктор біологічних наук, професор, Інститут захисту природи Польської академії наук (Краків, Польща)

**Киричук Галина** – доктор біологічних наук, професор Житомирський державний університет імені Івана Франка (м. Житомир, Україна)

**Кичкирук Ольга** – кандидат хімічних наук, доцент, Житомирський державний університет імені Івана Франка (Житомир, Україна)

**Корнійчук Наталія** – кандидат біологічних наук, доцент, Житомирський державний університет імені Івана Франка (Житомир, Україна)

**Кусяк Наталія** – кандидат хімічних наук, доцент, Житомирський державний університет імені Івана Франка (Житомир, Україна)

**Кюрчев Володимир** – доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НААН, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного (Мелітополь, Україна)

**Лаврик Олександр** – доктор географічних наук, професор, Житомирський державний університет імені Івана Франка (Житомир, Україна)

**Листван Віталій** – кандидат хімічних наук, доцент, Житомирський державний університет імені Івана Франка (Житомир, Україна)

**Малярчук Микола** – доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Інститут зрошувального землеробства НААН України (Херсон, Україна)

**Мудрак Галина** – кандидат географічних наук, доцент, Вінницький національний аграрний університет (Вінниця, Україна)

**Нестерчук Інна** – кандидат географічних наук, доцент, Житомирський державний університет імені Івана Франка (Житомир, Україна)

**Оксентюк Ярослава** – кандидат біологічних наук, старший викладач, Житомирський державний університет імені Івана Франка (Житомир, Україна)

**Островський Ілля** – кандидат біологічних наук, професор, Інститут океанографії і лімнології, Кінеретська лімнологічна лабораторія (Хайфа, Ізраїль)

**Пілярська Олена** – кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Інститут зрошувального землеробства НААН України (Херсон, Україна)

**Семешок Наталія** – доктор біологічних наук, старший науковий співробітник, Інститут гідробіології НАН України (Київ, Україна)

**Сидоренко Сергій** – кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Український ордена «Знак пошани» НДІ лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г.М. Висоцького Державного агентства лісових ресурсів України та НАН України (Харків, Україна)

**Стадниченко Агнеса** – доктор біологічних наук, професор, Житомирський державний університет імені Івана Франка (Житомир, Україна)

**Стуженас Вірмантас** – доктор філософії (біологія і екологія), науковий співробітник Центру дослідження природи Інституту екології (Вільнюс, Литовська Республіка)

**Тітов Юрій** – доктор хімічних наук, старший науковий співробітник, Київський національний університет імені Тараса Шевченка (Київ, Україна)

**Томашик Василь** – доктор хімічних наук, професор, Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України (Київ, Україна)

**Хом'як Іван** – кандидат біологічних наук, доцент, Житомирський державний університет імені Івана Франка (Житомир, Україна)

**Чайка Микола** – кандидат хімічних наук, доцент, Житомирський державний університет імені Івана Франка (Житомир, Україна)

**Чехій Віктор** – кандидат географічних наук, старший науковий співробітник, Інститут географії НАН України (Київ, Україна)

**Чумак Володимир** – кандидат хімічних наук, доцент, Житомирський державний університет імені Івана Франка (Житомир, Україна)

**Свідоцтво Міністерства юстиції України про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації**

**Серія КВ №25169-15109Р від 09.06.2022**

*Наукове періодичне видання*

Український журнал природничих наук: науковий журнал / [гол. ред. Овчаренко Микола, відп. ред. Шелюк Юлія]. Житомир: Вид-во Житомирського держ. ун-ту імені І. Франка, 2022. Вип. 2. 182 с.

Виготовлено з оригінал-макету авторів

Сайт видання: <http://naturaljournal.zu.edu.ua/>

Макетування: Кривонос Олександр

*В усіх статтях збережено орфографію та пунктуацію авторів.*

Підписано до друку 28.01.2023 р. Формат 60x90/8. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.

Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 12.7 Обл.-вид. арк 21.7. Тираж 300. Замовлення 35.

Видавництво Житомирського державного університету імені Івана Франка

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи: серія ЖТ №10 від 07.12.04 р.

E-mail: [zu@zu.edu.ua](mailto:zu@zu.edu.ua)

Україна, 10008, м. Житомир, вул. В. Бердичівська, 40. тел. (0412)431195, 431417

ISSN: 2786-6335 print  
ISSN: 2786-6343 online

© Житомирський державний університет імені Івана Франка, 2022

Ministry of Education and Science of Ukraine  
Zhytomyr Ivan Franko State University

# **Ukrainian Journal of Natural Sciences**

**Issue 2**

Scientific journal,  
founded in 2022

Zhytomyr  
2022

**Editorial Board:**

Editor-in-chief

**Ovcharenko Mykola** – Doctor habilitatus of Sciences (Biology), Senior Scientist, Professor of Institute of Biology and Earth Sciences Pomeranian University in Slupsk (Slupsk, Republic of Poland)

Co-editor-in-chief

**Sheliuk Yuliia** – Doctor of Sciences (Biology), Professor, Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Executive Secretary

**Patsyuk Maryna** – PhD (Biology), Associate Professor, Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Members of the Editorial Board

**Atasaraļ Şebnem** – Doctor Sciences in Fisheries Technology Engineering, Assistant Professor, Karadeniz Technical University (Trabzon, Turkey)

**Balashova Halyna** – Doctor of Sciences (Agricultural), Senior Scientist, Institute of Irrigated Agriculture NAAS of Ukraine (Kherson, Ukraine)

**Biliaieva Iryna** – Doctor of Sciences (Agricultural), Senior Scientist, Institute of Irrigated Agriculture NAAS of Ukraine (Kherson, Ukraine)

**Boymurodov Husniddin** – Doctor of Sciences (Biology), Professor, Samarkand Institute of Veterinary and Medicine (Samarkand, Uzbekistan Republic)

**Vlasenko Ruslana** – PhD (Biology), Associate Professor, Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

**Volovyk Volodymyr** – Doctor of Sciences (Geography), Professor, Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi Pedagogical University (Vinnytsia, Ukraine)

**Harbar Oleksandr** – Doctor of Sciences (Biology), Professor, Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

**Zhovnerchuk Olga** – PhD (Biology), Senior Scientist, I. I. Schmalhausen Institute of Zoology NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

**Zajac Tadeusz** – PhD (Biology), Professor, Institute of Nature Conservation of the Polish Academy of Sciences (Krakow, Poland)

**Kyrychuk Halyna** – Doctor of Sciences (Biology), Professor, Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

**Kychkyruk Olga** – PhD (Chemistry), Associate Professor, Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

**Koniichuk Nataliia** – PhD (Biology), Associate Professor, Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

**Kusiak Nataliia** – PhD (Chemistry), Associate Professor, Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

**Kyurchev Volodymyr** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dmytro Motomyr Tavrta State Agrotechnological University, (Melitopol, Ukraine)

**Lavryk Oleksandr** – Doctor of Sciences (Geography), Professor, Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

**Lystvan Vitalii** – PhD (Chemistry), Associate Professor, Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

**Maliarchuk Mykola** – Doctor of Sciences (Agricultural), Senior Scientist, Institute of Irrigated Agriculture NAAS of Ukraine (Kherson, Ukraine)

**Mudrak Halyna** – PhD (Geography), Associate Professor, Vinnytsia National Agrarian University (Vinnytsia, Ukraine)

**Nesterchuk Inna** – PhD (Geography), Associate Professor, Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

**Oksentiuk Yaroslava** – PhD (Biology), Senior Lecturer, Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

**Ostrovsky Iliia** – PhD (Aquatic Biology/Limnology), Professor, Senior Scientist, Israel Oceanographic and Limnological Research, Yigal Allon Kinneret Limnological Laboratory (Haifa, Israel) (Haifa, Israel)

**Piliarska Olena** – PhD (Agricultural), Senior Scientist, Institute of Irrigated Agriculture NAAS of Ukraine (Kherson, Ukraine)

**Semenyuk Nataliia** – Doctor of Sciences (Biology), Senior Scientist, Institute of Hydrobiology NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

**Sydorenko Serhii** – PhD (Agricultural), Senior Scientist, Ukrainian order “Sign of Honour” Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky State Forest Resources Agency of Ukraine and the National Academy of Sciences of Ukraine (Kharkiv, Ukraine)

**Stadnychenko Agnesa** – Doctor of Sciences (Biology), Professor, Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

**Stunženas Virmantas** – PhD (Biology and Ecology), Senior Scientist, Nature Research Centre of the Institute of Ecology (Vilnius, Lithuania)

**Titov Yuriy** – Doctor of Sciences (Chemistry), Senior Scientist, Taras Shevchenko National University (Kyiv, Ukraine)

**Tomashyk Vasyl** – Doctor of Sciences (Chemistry), Professor, Lashkariov Institute of Semiconductor Physics, NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

**Khomyak Ivan** – PhD (Biology), Associate Professor, Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

**Chayka Mykola** – PhD (Chemistry), Associate Professor, Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

**Chekhniy Viktor** – PhD (Geography), Senior Scientist, Institute of Geography of the NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

**Chumak Volodymyr** – PhD (Chemistry), Associate Professor, Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Certificate of the Ministry of Justice of Ukraine on state registration of print media  
Series of KV №25169-15109R from 09.06.2022

*Scientific Periodical*

Ukrainian Journal of Natural Sciences/ [editor Ovcharenko Mykola, co-editor-in-chief Sheliuk Yuliia]. Zhytomyr: Zhytomyr Ivan Franko State University Press, 2022. Issue 2. 182 p.

Website: <http://naturaljournal.zu.edu.ua/>

Modelling: Kryvonos Olexandr

*Authors' spelling and punctuation are preserved in the articles*

Signed for printing 28.01.2023 p. Size 60x90/8. Offset Paper. Font Times New Roman.

Risograph printing. Conventional printed sheets 12.7. Printed sheets 21.7. Number of copies 300. Order 35.

Zhytomyr Ivan Franko State University Press

Licence of the Subject of Publishing: Series ZhT № 10 from 07.12.04.

E-mail: [zu@zu.edu.ua](mailto:zu@zu.edu.ua)

Ukraine, 10008, Zhytomyr, Velyka Berdychivska Str., 40. tel. (0412)431195, 431417

ISSN: 2786-6335 print  
ISSN: 2786-6343 online

© Zhytomyr Ivan Franko State University, 2022



Ukrainian Journal of Natural Sciences  
Issue 2  
Український журнал природничих наук  
Випуск 2

ISSN: 2786-6335 print  
ISSN: 2786-6343 online

## БІОЛОГІЯ

УДК 574.2

DOI 10.35433/naturaljournal.2.2023.5-18

### НОВА ЗНАХІДКА SPARASSIS CRISPA (WULFEN) FR 1821 НА ТЕРИТОРІЇ СЛОВЕЧАНСЬКО-ОВРУЦЬКОГО КРЯЖУ

Є.В. Никончук<sup>1</sup>, В.С. Костюк<sup>2</sup>, А.К. Хом'як<sup>3</sup>

Стаття присвячена дослідженню новому місцезнаходженню (*Sparassis crispa*) на території Словечансько-Овруцького кряжу. Гриб занесений до Червоної книги України та знаходиться під загрозою винищення через зростаючий до нього інтерес як об'єкту кулінарії та медицини. Для досягнення мети дослідження були поставлені такі завдання: описати фітоценоз в межах якого знаходиться *Sparassis crispa* та його флористичне оточення, а також запропонувати заходи щодо його охорони. Місцезнаходження *S. crispa* – це відновлення лісових насаджень на місці вирубки. В деревному ярусі переважають молоді особини *Pinus sylvestris* L. (75-90%) за участі *Betula pendula* Roth. (20-50%). В підліску часом трапляється *Frangula alnus* Mill. Трав'яний покрив розріджений – до 15%. Тут переважають мохи *Dicranum polysetum*, *D. scorarium*, *Polytrichum juniperinum* та *Pleurozium schreberi*. Зрідка зустрічаються *Festuca ovina*, *Lycoperidium clavatum* та *Melampyrum pratense*. За результатами синфітоіндикаційного аналізу встановлено, що умови середовища відповідають середньо багатим лісам Полісся, які відносяться до союзу *Dicrano-Pinion*. Багаторічний режим зволоження децю вищий за середні значення для асоціації *Dicrano-Pinetum* та наближається до асоціації *Molinio-Pinetum*. Показники природної динаміки ( $ST=12,72$ ) відповідають переходу від похідних до молодих корінних лісів. Рівень антропогенної трансформації ( $HE=5,29$ ) відповідає природним олігомеробним лісам. Отже незважаючи на вирубку, яка була тут проведена декілька років тому, все ж гриб розміщений в умовах які не піддаються постійному антропогенному тиску. Фітоценоз, в якому розміщений *S. crispa* є асоціацією *Dicrano-Pinetum*, класу *Vaccinio-Piceetea*, порядку *Pinetalia sylvestris*, союзу *Dicrano-Pinion*. Оскільки, поруч із місцезнаходженням гриба *Sparassis crispa* проектується гідрологічний заказник місцевого значення «Прибитоцький» доцільно долучити цю територію до проєктованого об'єкту ПЗФ.

<sup>1</sup> головний спеціаліст  
відділу природних ресурсів та природно-заповідної справи  
Управління екології та природних ресурсів  
(Житомирської обласної державної адміністрації)  
e-mail: nikon4uk.zhenja@gmail.com

<sup>2</sup> кандидат біологічних наук, доцент,  
доцент кафедри екології та географії  
(Житомирський державний університет імені Івана Франка)  
e-mail: kostyuk\_vs@yahoo.com  
ORCID: 0000-0001-5504-4084

<sup>3</sup> студентка природничого факультету  
(Житомирський державний університет імені Івана Франка)  
e-mail: homiak192003@gmail.com

**Ключові слова:** Червона книга України, раритетний вид, гідрологічний заказник.

## A NEW DISCOVERY OF SPARASSIS CRISPA (WULFEN) FR 1821 ON THE TERRITORY OF THE SLOVIANSKO-OVRUCH RIDGE

Ye. V. Nykonchuk, V. S. Kostiuk, A. K. Khomiak

The article is devoted to the study of a new locality (*Sparassis crispa*) in the territory of the Slovak-Ovrutsky Range. The mushroom is listed in the Red Book of Ukraine and is under threat of extinction due to the growing interest in it as an object of cooking and medicine. To achieve the goal of the research, the following tasks were set: to describe the phytocenosis within which *S. crispa* is located and its floral environment, as well as to propose measures for its protection. The location of *S. crispa* is reforestation at the site of felling. The tree layer is dominated by young individuals of *Pinus sylvestris* L. (75-90%) with the participation of *Betula pendula* Roth. (20-50%). *Frangula alnus* Mill sometimes occurs in the undergrowth. Grass cover is sparse – up to 15%. Here, the mosses *Dicranum polysetum*, *Dicranum scoparium*, *Polytrichum juniperinum* and *Pleurozium schreberi* prevail. *Festuca ovina*, *Lycopodium clavatum* and *Melampyrum pratense* are occasionally found.

According to the results of the synphytoindicative analysis, it was established that the environmental conditions correspond to moderately rich forests of Polissia, which belong to the Dicrano-Pinion union. The perennial wetting regime is slightly higher than the average values for the Dicrano-Pinetum association and approaches the Molinio-Pinetum association. Indicators of natural dynamics ( $ST=12.72$  points) correspond to the transition from derived to young native forests. The level of anthropogenic transformation ( $HE=5.29$  points) corresponds to natural oligohemerobic forests. So, despite the felling that was carried out here several years ago, the mushroom is still placed in conditions that are not subject to constant anthropogenic pressure. The phytocenosis in which *Sparassis crispa* is placed is the Dicrano-Pinetum association, Vaccinio-Piceetea class, Pinetalia sylvestris order, Dicrano-Pinion union. Since the "Prybytocky" hydrological reserve of local importance is being planned next to the location of the *Sparassis crispa* mushroom, it is expedient to include this territory in the projected PZF object.

**Key word:** Red Book of Ukraine, rare species, hydrological reserve.

### Вступ

Охорона раритетних видів в Україні на сьогодні стикається із кількома ключовими проблемами. Перша є глобальною і поширена в багатьох інших країнах. Її суть в потребі переходу із видового на оселищний рівень охорони біоти (Дідух, 2014). Адже, заходи по збереженню раритетного виду будуть неефективними без збереження сталості середовища його існування. Друга проблема стосується виключно України та ще декількох країн із низькими економічними показниками. Війна і економічна криза мають багато аспектів, які шкодять навколишньому середовищу. Одним із них є недофінансування науки. В Україні і до повномасштабного вторгнення в 2022 і до початку війни в 2014 в цьому напрямку сформувалася катастрофічна ситуація. Вона виявила

себе вже під час видання Червоної Книги України в 2009 році. Мізерне фінансування науки – це не лише проблема проведення досліджень. Це ще й постійна кадрова деградація. Наукові кадри не поповнюються молодими фахівцями, їхня чисельність та якісний склад постійно спадають. Коли ми говоримо про основу природоохоронних рішень, щодо конкретних видів, то маємо на увазі, насамперед, біологічні дослідження. Кожні 10-12 років, кожен із тисяч видів біоти нашої країни має бути обстежений. Маючи кілька десятків дослідників в академічних установах і пару сотень в університетах неможливо охопити увесь спектр видового різноманіття країни. Згідно із правилами формування раритетних списків видів, в них потрапляють не лише ті, що мають доведену потребу в охороні, а й ті чий статус не

визначений через відсутність досліджень. У зв'язку із цим наші Червоні книги переобтяжені недослідженими видами, що спричиняє велику кількість труднощів в практиці охорони природи. Саме тому дослідження умов середовища для кожного виду, який вже віднесений до червоного списку або може претендувати на це, є актуальною задачею охорони біорізноманіття.

Спарасис кучерявий (*Sparassis crispa* (Wulfen) Fr1821) – це їстівний цінний гриб, який відомий у так званій народній медицині, як «гриб-баран». Його життєдіяльність пов'язана із стовбурами або коренями старих хвойних дерев. Найчастіше мова іде про сосни, ялини та ялиці. У 2009 році *S. crispa* занесено до Червоної книги України в статусі зникаючий вид. На момент видання Червоної книги було описано 12 його місцезнаходжень. Отриманий природоохоронний статус привернув до спарасиса кучерявого більше уваги. Вже на 2020 рік стало відомо про більше як 120 його знахідок. Вони також включають повторні описи в місці попередньої знахідки.

Родова назва гриба *Sparassis* походить із грецької, і означає «розривати», тому що його плодове тіло нагадує розірване листя. Цей рід був вперше описаний у 1821 році шведським мікологом Еліасом Фрісом. Цей рід відносять до родини *Sparassidaceae* (*Polyporales*, *Agaricomycetes*). Він об'єднує види, що утворюють листкоподібні розгалуження базидіом із центральної маси та мають амфігенний гіменій. Видовий епітет *crispa*, що походить з латинської мови і означає «зморшкуватий» або «кучерявий», пов'язаний з тим, що базидіоми утворюють гнучкі відгалуження з кучерявим зубчастим краєм. Спочатку вид був описаний як *Elvela ramosa* (Schaeffer, 1772), пізніше Wulfen (1781) назвав його *Clavaria crispa*, і врешті решт він був перенесений Еліасом

Фрісом до *Sparassis* (1821) (Mukchaylova et al., 2017).

Особливу увагу до вивчення цього гриба приділяють в Азії – Японії, Південній Кореї та Китаї (Shim, et al., 1998). Їхні дослідження відображують *S. crispa* як монофілетичну кладу. Водночас морфологічні і молекулярні дослідження показують, що вид названий *S. crispa* на території Азії, відрізняється від матеріалу із Європи чи Північної Америки. Тому азійський ізолят виду часто називають *S. latifolia*. Це робиться на підставі аналізу молекулярної послідовності рДНК, наприклад, внутрішнього транскрибованого спейсера (ITS) та його морфологічних характеристик (Tada et al., 2007).

*S. crispa* здатний виконувати різні екологічні ролі. Він може виявляти себе слабким паразитом, біотрофом і сапротрофом. Гриб здатний вражати коріння деяких листяних і хвойних порід дерев та викликати буру серцевинну гниль. *S. crispa* не завдає великої шкоди деревам, і заражені дерева можуть жити ще багато років, щорічно підтримуючи щойно вирощені гриби. *S. crispa* слабкий паразит і має незначну проникну здатність в живі тканини рослин-господарів. Він паразитує на фізіологічно ослаблених або нещодавно загиблих рослинах, мортомасі у вигляді колод або товстих опалих гілках. *S. crispa* проникає в живі дерева через їхнє коріння й викликає буру кубічну гниль стебла та кореня. Хвороба прогресує від кореня до серцевини і з часом руйнує нижню частину дерева. Сприяє проникненню збудника наявності ран на стовбурі та коренях.

*S. crispa* добре себе почуває в лісах на дерново-підзолистих ґрунтах із підвищеною вологістю. Базидіоми спарасиса кучерявого можна помітити з липня по жовтень біля основи дерев-господарів. Гриб має досить широкий ареал в Північній півкулі. Він поширений в Австралії, Франції, Росії, Німеччині, США, Китаї, Тибеті, Японії,



Непалі, Білорусі, Туреччині, Індії, Україні. Наприклад на півострові Індостан він зустрічається в районах Хімачал-Прадеш, Уттаракханд, Джамму-Кашмір і Махараштра. В Україні його частіше фіксують в околицях Києва та Київській області. Також є офіційно підтверджена інформація із Донецької, Івано-Франківської, Житомирської, Чернівецької, Чернігівської та Хмельницької областей.

*S. crispa* росте повільно. Гриб має плодове тіла висотою до 5–15 (20) см, і діаметром 10–20 (40) см, які досягають маси 6–10 кг. Форма плодового тіла кушовидна й розгалужена, а ззовні схожа на цвітну капусту. Гриб, зазвичай, має світло-жовте, охряно-жовте або кремове, забарвлення. З віком він стає коричневий чи буруватий. *S. crispa* складається з численних відгалужень чи лопатей. Вони, зазвичай, тонкі та покручені, приплюснуті та лопатевидні, із кучерявим зубчастим краєм. Гіменофор гладкий чи шершавий. Частіше за все воскуватий та знаходиться поверху відгалужень гриба. Спори у спарасиса білуватого чи жовтуватого кольору, розміром 5-7,5 на 3-5 мкм, еліпсоїдної форми, із гладенькою поверхнею та із каплями масла, безбарвні або ледь жовтуватого кольору.

У *S. crispa* ніжка плодового тіла висотою до 9–13 см, а її діаметр до 2–5 см. Ніжка центральна та малопомітна через глибоке занурення в субстрат. Вона має бульбовидну форму, у молодих грибів із білуватим або жовтуватим кольором, а у старих стає буруватою або чорнуватою за забарвленням. М'якоть гриба має приємний запах, біла, щільна, не змінює кольору на зрізі.

Спарасис кучерявий вважають добрим їстівним грибом III категорії, коли він зібраний у свіжому та молодому вигляді (Takashi, 2013). Гриба важко очистити, для чого рекомендується користуватися зубною щіткою і проточною водою. В

французькій книзі присвяченій кулінарії, є чотири рецепти приготування *S. crispa*. Тут пишуть, що личинки комах та дрібні соснові голки можуть потрапити в отвори у перемішаній масі плодового тіла. Гриб потрібно бланшувати в окропі 2-3 хвилини перед тим, як додати до решти страви. Спарасис кучерявий слід варити повільно. Використовується він після 15-ти хвилинного приготування, як вареним, так і смаженим.

*S. crispa* досить популярний в народній медицині Далекого Сходу та Центральної і Східної Європи (Choi et al., 2013; Kimura, 2013). У східних слов'ян настої плодових тіл гриба використовували для лікування захворювань печінки та жовчного міхура. Це привабляло інтересу до гриба і в науковій медицині (Faroog et al., 2014; Yoshikawa et al., 2010). Сучасні дослідження вказують на те, що екстракти, які отримані як з плодових тіл, так і міцеліальної маси спарасиса кучерявого, мають онкостатичний, імуномодулюючий і антиметастатичний ефекти (Woodward et al. 1993; Yamamoto et al., 2009). Терапевтичний ефект зумовлений багатим вмістом  $\beta$ -глюкану (спарану), який може становити більше 40% сухої ваги гриба (Kwon et al., 2009; Yang et al., 2014). Також культивовані штами *S. crispa* здатні до біосинтезу антибіотиків і цитокінінів. Сьогодні Спарасис кучерявий розглядається, як перспективний вид для біотехнології, щодо отримання їстівних плодових тіл та як джерело  $\beta$ -глюканів у промислових масштабах (Hu et al., 2016; Kim et al., 2013).

Головними загрозами для чисельності *S. crispa* є збір його місцевим населенням як їстівного гриба чи лікувального засіб а також зниження лісів із перестійними соснами. Спарасис кучерявий офіційно охороняється у Кримському природному заповіднику та Карпатському біосферному заповідниках. Зразки гриба *S. crispa*

зберігаються в колекції культур грибів Інституту ботаніки імені М. Г. Холодного НАН України.

Оскільки спарасис кучерявий зустрічається в природі досить рідко а попит на нього великий та зростає, то в деяких країнах Сходу, Європи та Північної Америки (Кореї, Китаї, Японії, Німеччині і США), проводяться дослідження щодо можливості відтворення цього виду в лабораторних умовах. Вже сьогодні є результати щодо специфіки росту гриба на різних рослинних субстратах і підбору оптимальних умов культивування для його плодоношення (Mukchaylova et al., 2017).

#### **Мета**

Метою дослідження є характеристика місцезростання *S. crispa* на території Словечансько-Овруцького кряжу.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- Описати фітоценоз в межах якого знаходиться *S. crispa* та його флористичне оточення.
- Запропонувати заходи щодо його охорони.

#### **Матеріал та методи**

Матеріалами дослідження є стандартні геоботанічні описи зроблені в районі місцезнаходження *S. crispa* в 2019-2022 роках. Польові дослідження проводилися за стандартними маршрутно-експедиційними та стаціонарними методами. Камеральні дослідження включали в себе класифікацію рослинності та характеристику середовища синфітоіндикаційними методами (Дідух і Плюта 1994; Дідух, 2012; Хом'як та ін., 2020). Рослинні угруповання класифікувалися через обробку стандартних геоботанічних описів за допомогою програми TURBOVEG for Windows (Hennekens 2009). Оселища визначалися за їхніми автотрофними блоками екосистем згідно із класифікацією БраунБланке (Westhoff & Maarel, 1973) та Національним каталогом біотопів України (Дубина та ін., 2019; Davies & Moss, 2004). При

цьому, використався продромус рослинності України за 2019 рік (Дубина та ін., 2019).

Під час визначення раритетних компонентів біоти використовувались міжнародні програми ратифіковані Україною та її національні списки. До списків раритетної біоти міжнародного значення належать Червоний список МСОП, Європейський Червоний список, Бернська конвенція. До національних – Червона книга України (в останній редакції згідно із наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України №111 від 15 лютого 2021 року) та Зелена книга України (згідно із постановою Кабінету Міністрів України від 29 серпня 2002 р. N 1286). Регіональним списком раритетних видів є перелік регіонально рідкісних видів затверджений рішенням Житомирської обласної ради від № 1162 від 08.09.2010 та № 1460 від 19.03.15 (Червона книга... 2009).

#### **Результати**

На південь від села Черевки було знайдено декілька екземплярів. Найбільший екземпляр мав розміри 23 см в діаметрі та 10 сантиметрів висотою. Усі гриби розташовувалися на пеньках старих сосен або поруч із ними.

Місцезнаходження *S. crispa* це відновлення лісових насаджень на місці вирубки. За класифікацією Браун-Бланке це асоціація *Dicrano-Pinetum* Preising et Knapp ex Oberdorfer 1957, класу *Vaccinio-Piceetea* Br.-Bl. in Br.-Bl. et al. 1939. порядку *Pinetalia sylvestris* Oberdorfer 1957 союзу *Dicrano-Pinion* (Libbert 1933) Matuszkiewicz 1962. Не зважаючи на те, що окремі старі пеньки покриті лишайниками роду кладонія, а в окремих місцях спостерігаються куртини чорниці ми не можемо віднести ці ділянки до асоціацій *Cladonio-Pinetum* Juraszek 1927 чи *Molinio-Pinetum* W.Mat et J.Mat 1973. В деревному ярусі переважають молоді особини *Pinus sylvestris* L. (75-90%) за участі *Betula pendula* Roth. (20-50%). В підліску часом трапляється *Frangula*

*alnus* Mill. Трав'яний покрив розріджений – до 15%. Тут переважають мохи *Dicranum polysetum*, *D. scorarium*, *Polytrichum juniperinum* та *Pleurozium schreberi*. Зрідка зустрічаються *Festuca ovina*, *Lycopodium clavatum* та *Melampyrum pratense*.

За результатами синфітоіндикаційного аналізу встановлено, що умови середовища відповідають середньобогатим лісам Полісся, які відносяться до союзу *Dicrano-Pinion* (табл. 1). Багаторічний режим зволоження дещо вищий за

середні значення для асоціації *Dicrano-Pinetum* та наближається до асоціації *Molinio-Pinetum*. Показники природної динаміки (ST=12,72) відповідають переходу від похідних до молодих корінних лісів (Khomiak et al., 2019). Рівень антропогенної трансформації (HE=5,29) відповідає природним олігогемеробним лісам (Хом'як та ін., 2018). Отже незважаючи на санітарну вирубку, яка була тут проведена декілька років тому, все ж гриб розміщений в умовах які не піддаються постійному антропогенному тиску.

Таблиця 1.

Показники факторів середовища в оселищі на території Словечансько-Овруцького краю

(за шкалою Дідуха-Плюти та Дідуха-Хом'яка)

HD	FH	RC	SL	CA	NT	AE	TM	OM	KN	CR	LC	HE	ST
12,25	5,59	5,61	4,99	5,64	3,73	6,32	7,59	14,61	9,11	7,37	6,82	5,29	12,72

Позначення факторів середовища: багаторічний режим зволоження (HD), змінність зволоження (FH), кислотність (RC), сольовий режим (SL), вміст карбонатів (CA), вміст доступного нітрогену (NT), аерація едафотопу (AE), терморегімі (TM), омборегімі (OM), континентальність (KN), кріорегімі (CR), освітленість (LC), рівень антропогенної трансформації (HE), показник природної динаміки (ST)

Поруч із місцезнаходженням проектується гідрологічний заказник місцевого значення «Прибитоцький» (Козин і Хом'як, 2021; Хом'як та ін., 2022). Він знаходиться в межах Словечанської сільської об'єднаної територіальної громади (раніше територія Овруцького району) Житомирської області за 2 км на південь від с. Черевки. Заказник розташований біля витоків та в долині верхньої течії річки Прибитки. Загальна площа проєктованого Заказника становить близько 43 га. Розпорядником земель відведених для заказника є «ДП Словечанський лісгосп». Це квартал 4 (в. 25) та 5 (в. 40, 41, 23, 24, 26, 33-38) Велідницького лісництва.

Територія розташована на північних геологічних структурах Українського кристалічного щита. Геоморфологічною основою є

Овруцький грабен, Всі породи відносяться до Овруцької вулканогено-осадової серії і розділяються на дві свити: вулканогенну – збраньківську і осадову – толкачевську. Вулканогено-осадові породи лежать на шарі гранітів кіровоградсько-житомирського комплексу. В основі розрізу збраньківської свити залягають малопотужні кварцові піщаники а також міндель-кам'яні базальти, діабазити. Над ними знаходяться чорні філітові сланці та буровато-сірі піщаники потужністю десь біля 10 м. Ще вище залягають ігнімбритові породи. Їх з заходу покривають конгломерати, гравеліти, піщаники. Поверх них два шари основних ефузивів із потоків базальтів, діабазових порфіритів та діабазів. Осадові породи – це мезокайнозойські відкладення (кварцито-піщаники). Дерново-підзолисті від легко суглинистих до супіщаних, на півночі на перевіяних пісках. Ближче до русла річки часом трапляються фрагменти слобосформованих торфо-болотних ґрунтів.

Основні фрагменти мікрорельєфу утворюються від поєднання більш крупних форм. На нього впливає південний схил кряжу, на території якого знаходиться Заказник та висота 254,7 (урочище Кам'яна гірка) на північний схід від нього. Через це тут площі територій із південно-східною експозицією переважають над тими, що мають інші нахили. Також впливає розщелина між блоками, в якій розташована долина р. Прибитки. Перепад висот від північно-західної до південно-східної частин території досягає 17 м.

Витоки р. Прибитки знаходяться в джерелі-криничці розташованій посеред заболоченого сосново-вільхового лісу. Вода джерела досить високої якості, вона приємна на смак, немає специфічного запаху або присмаку та прозора. Дебіт джерела до 0,5 м<sup>3</sup>/год. Згідно із більш ранніми дослідженнями (2011-2016 роки) на піщаному дні джерела можна було спостерігати поодинокі гейзери. У 2021 році вони не спостерігалися. Це може вказувати на замулення джерела або зміну кліматичних умов та деградацію оселищ території водозбору. Ця територія включає в себе південну частину кряжу на південний схід від висоти «254,7». Її площа в середньому дорівнює 4-5 км<sup>2</sup>. Береги р. Прибитки місцями сильно заболочені і заліснені. Вона зливається із річкою Татаринка на північ від села Прибитки та впадає у річку Норинь яка належить до басейну Прип'яті, в якості її правої притоки Це відбувається на перегоні Нові Велідники-Прибитки, в районі залізничного мосту (Harbar, et al., 2021).

Оселища проектного гідрологічного заказника місцевого значення «Прибитоцький» переважно лісові. Ліси різної категорії зволоження едафотопу. Лише невеликі фрагменти території, зайняті галявинами та узліссями, які вкриті вологими луками та ососково-злаковими болотами. Під час дослідження 2021-2022 років було класифіковано рослинні угруповання,

що віднесені до 15 класів, 19 порядків, 24 союзів, 48 асоціацій та двох безрангових угруповань. Синтаксономічна схема рослинності території має такий вигляд:

*Potamogetea* Klika in Klika et Novak 1941: *Potamogetalia* Koch 1926: *Nymphaeion albae* Oberd 1957: *Numpharo lutei-Nymphaetum albae* Tomasz 1977, *Potamogion* Libberd 1931: *Potametum natantis* Hild 1959,

*Isoëto-Nanojuncetea* Br.-Bl. et Tx. in Br.-Bl. et al. 1952: *Nanocyperetalia* Klika 1935: *Eleocharition soloniensis* G. Phil. 1968: *Juncetum bufonii* Felföldy 1942.

*Phragmiti-Magnocaricetea* Klika in Klika et Novak 1941: *Nasturcio-Glycerietalia* Pignatti 1953: *Phalaroidion arundinaceae* Kopecky 1961: *Phalaroidetum arundinaceae* Libb. 1931 *Phragmitetalia* Koch 1926: *Phragmition* Koch 1926: *Typhetum latifoliae* Nowiński 1930, *Glycerietum maximae* Nowiński 1930 corr. Šumberová, Chytrý et Danihelka in Chytrý 2011; *Magnocaricetalia* Pignatti 1953: *Magnocaricion elatae* Koch 1926: *Cladietum marisci* Allorge 1921, *Caricetum elatae* Koch 1926; *Magnocaricion gracilis* Géhu 1961: *Caricetum vesicariae* Chouard 1924, *Caricetum gracilis* Savič 1926, *Carici acutae-Glycerietum maximae* Jilek et Valisek 1964, *Calletum palustris* Vanden Berghen 1952.

*Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae* Tx. 1937: *Caricetalia fuscae* Koch 1926: *Caricion fuscae* Koch 1926: *Caricetum nigrae* Braun 1915; *Scheuchzerietalia palustris* R.Tx et Nordhagen 1937: *Stygio-Caricion limosae* Nordhagen 1943: *Caricetum lasiocarpae* Koch 1926; *Scheuchzerion palustris* Nordhagen 1936: *Polytricho communis-Molinietum caeruleae* Hadač et Váňa 1967, *Scheuchzerietum palustris* Tx. 1937, *Sphagno fallacis-Calletum palustris* Passarge 1999, *Sphagno fallacis-Phragmitetum australis* (Jeschke 1961) Passarge 1999, *Carici-Menyanthetum* Soó 1955, com. *Comarum palustre*.

*Oxycocco-Sphagnetes* Br.-Bl. et Tüxen ex Westhoff et Paschier 1946:

*Sphagnetalia medii* Kästner & Flössner 1933: *Sphagnion medii* Kästner and Flössner 1933: *Andromedo polifiliae-Sphagnetum megellanici* Bogdanovskaya-Gienv 1928, *Drosero rotundifoliae-Sphagnetum* Konishchuk 2009, *Eriophoro vaginati-Pinetum sylvestris* Hueck 1931, *Eriophoro vaginati-Sphagnetum angustifolii* Hueck 1925, *Oxycocco microcarpi-Polytrichetum* Konishchuk 2009, *Oxycocco palustri-Sphagnetum* Konishchuk 2009, *Ledo-Pinetum* R.Tx 1925.

*Molinio-Arrhenatheretea* R.Tx 1937: *Molinetalia* Koch. 1926: *Mentho longifoliae-Juncion inflexi* T. Müller et Görs ex de Foucault 2009: *Juncetum effusi* (Pauca 1941) Soó 1947, *Junco effusi-Molinietum caeruleae* Tüxen 1954; *Calthion palustris* R.Tx 1937: *Scirpetum sylvatici* Ralski 1931.

*Calluno-Ulicetea* Br.-Bl. et Tüxen ex Klika et Hadač 1944: *Vaccinio myrtilli-Genistetalia pilosae* Schubert ex Passarge 1964: *Calluno-Genistion pilosae* P. Duvigneaud 1945: *Calluno-Genistetum* R.Tx 1937, com. *Calluna vulgaris*.

*Nardetea strictae* Rivas Goday et Borja Carbonell in Rivas Goday et Mayor López. 1966: *Nardetalia* Preis. 1950: *Violion caninae* Schwckerath 1944: *Polygalo vulgaris-Nardetum strictae* Oberd. 1957, *Calluno-Nardetum* Hrync 1959, *Nardo-Juncetum squarrosi* (Oberdorfer 1957) Passarge 1964.

*Sedo-Scleranthetetea* Br.-Bl. 1955: *Alyso alyssoidis-Sedetalia albi* Moravec 1967: *Alyso alyssoidis-Sedion* Oberdorfer et Müller in Müller 1961: *Sedo acri-Dianthetum hypanicii* nova, *Sedo-Scleranthetalia* Br.-Bl. 1955: *Hyperico perforati-Scleranthion perennis* Moravec 1967: *Thymo pulegioidis-Sedetum sexangularis* Didukh et Kontar 1998.

*Epilobietea angustifolii* Tx. et Preising ex von Rochow 1951: *Galeopsio-Senecionetalia sylvatici* Passarge 1981: *Epilobion angustifolii* Oberd. 1957: *Rubio-Chamaenerietum angustifolii* Hadač et al. 1969, *Rubetum idaei* Gams 1927, *Calamagrostietum epigii* Juraszek 1928.

*Robinietea* Jurco ex Hadac et

Sofron 1980: *Sambucetalia racemosae* Oberd. ex Doing 1962: *Sambuco-Salicion capreae* Tx. et Neum et Oberd. 1957: *Sambucetum racemosae* Noirfalise in Lebr. et al. ex Oberd. 1973, *Salicetum capreae* Schreier 1955.

*Vaccinio-Piceetea* Br.-Bl. in Br.-Bl. et al. 1939. *Pinetalia sylvestris* Oberdorfer 1957: *Dicrano-Pinion* (Libbert 1933) Matuszkiewicz 1962: *Cladonio-Pinetum* Juraszek 1927, *Dicrano-Pinetum* Preising et Knapp ex Oberdorfer 1957, *Molinio-Pinetum* W.Mat et J.Mat 1973, *Vaccinio uliginosae-Pinetum* Kleist 1929.

*Alnetea glutinosae* Br.-Bl. et Tüxen ex Westhoff, Dijk et al. 1946: *Alnetalia glutinosae* R.Tx 1937: *Alnion glutinosae* Malcuit 1929: *Calamagrostio canescenti-Alnetum glutinosae* Mikoška 1956, *Sphagno squarrosi-Alnetum* Sol.-Gorn (1975) 1987.

*Molinio-Betuletea pubescentis* Pass. 1968: *Molinio-Betuletalia pubescentis* Pass. 1968: *Betulion pubescentis* Lohmeyer et R. Tx. ex Oberdorfer 1957: *Menyantho trifoliati-Betuletum pubescentis* Hryhora et al. 2005.

*Franguletea* Doing ex Westhoff in Westhoff et Den Held 1969: *Salicetalia auritae* Doing 1962: *Salicion cinerea* Th.Müll et Görs ex Pass 1961: *Salicetum pentandro-cinerea* Pass 1961, *Betulo-Salicetum repentis* Oberd. 1964.

В районі джерела спостерігаються вологі луки (*Molinio-Arrhenatheretea* R.Tx 1937: *Molinetalia* Koch. 1926: *Calthion palustris* R.Tx 1937: *Scirpetum sylvatici* Ralski 1931) та прибережні високі трав'яні угруповання (*Phragmiti-Magnocaricetea* Klika in Klika et Novak 1941: *Nasturcio-Glicerietalia* Pignatti 1953: *Phalaroidion arundinaceae* Корецьку 1961: *Phalaroidetum arundinaceae*). Крім місцевої флори тут зустрічається непальська декоративна форма *Phalaroides arundinacea* L.

Навколо джерела розташовані масиви сосново-чорничних (*Vaccinio-Piceetea* Br.-Bl. in Br.-Bl. et al. 1939. *Pinetalia sylvestris* Oberdorfer 1957: *Dicrano-Pinion* (Libbert 1933) Matuszkiewicz 1962: *Molinio-Pinetum* W.Mat et J.Mat 1973) сосново-буяхових

лісів (*Vaccinio uliginosae-Pinetum* Kleist 1929.) і лісових боліт (*Oxycocco-Sphagnetea* Br.-Bl. et Tüxen ex Westhoff et Paschier 1946: *Sphagnetalia medii* Kästner & Flössner 1933: *Sphagnion medii* Kästner and Flössner 1933: *Eriophoro vaginati-Pinetum sylvestris* Hueck 1931, *Ledo-Pinetum* R.Tx 1925).

### Обговорення

Територія проєктованого в цей час заказника місцевого значення «Прибитоцький» характеризується високим фітоценотичним різноманіттям. Рослинність належить до 15 класів, 19 порядків, 24 союзів, 48 асоціацій та двох безрангових угруповань. Велике число оселищ знаходиться під охороною 4 резолюції Бернської конвенції. Тут описані: Перехідні болота та сплавини (D2.3 Transition mires and quaking bogs); Багаті болота, включаючи евтрофні високотравні та карбонатні болота (D4.1 Rich fens, including eutrophic tall-herb fens and calcareous flushes and soaks); Зарості крупних осок переважно без застою води (D5.2 Beds of large sedges normally without freestanding water); Угруповання *Nardus stricta* (E1.71 *Nardus stricta* swards); Мокрі або вологі евтрофні і мезотрофні луки (E3.4 Moist or wet eutropic and mesotrophic grassland); Сухі пустища (F4.2 Dry heaths); Прирічкові чагарники (F9.1 Riverine scrub); Прибережні вербові ліси (G1.11 Riverine *Salix* woodland); Заболочені хвойні ліси неморальної зони (G3.E Nemoral bog conifer woodland); Комплекси верхових боліт (X04 Raised bog complexes).

На території проєктованого заказника під час обстеження 2019-2021 років було знайдено червонокнижні види рослин: *Vaccinium microcarpum* (Turcz. ex Rupr.) Schmalh, та *Betula humilis* Schrank. Серед раритетних представників птахів зафіксовано пару *Ciconia nigra* L., (Червона книга України, Бернська та Боннська конвенція, Конвенція CITES), *Tetrao tetrix* L. (Червона книга України, Бернська конвенція), *Buteo buteo* L.

(Бернська та Боннська конвенція, Конвенція CITES), чотири *Tetrastes bona* L. (Червона книга України, Бернська конвенція), та *Dryocopus martius* L. (Бернська конвенція та Директива ЄС про захист диких птахів).

Природно-ресурсний потенціал території, пропонованої до заповідання та створення заповідника невисокий з позиції господарського використання. Територія не використовується як об'єкт сільського господарства. З позиції інтересів лісопромислового комплексу лісові масиви здебільшого малопривабливі через низький бонітет насаджень заболочених ділянок (Патрон і Хом'як, 2021) Разом із тим територія має високий потенціал через надання екосистемних послуг. Центральним об'єктом заказника є криниця на одному із природних джерел, яке є витоком р. Прибитки. Вона має соціально-економічне значення як рекреаційний і сакральний об'єкт. Із ним пов'язано багато місцевих легенд та повір'їв, а також релігійних ритуалів. Воду використовують працівники лісового господарства, відвідувачі лісу та туристи (Лаврик та ін., 2021).

На території проєктованого заказника пропонується обмежити такі види діяльності:

- будівництво будівель та споруд, доріг, трубопроводів, ліній електропередач, проведення всіх видів земляних робіт, у тому числі і прокладка всіх видів інженерних комунікацій;
- видобування корисних копалин;
- використання звуковідтворювальної техніки та музичних інструментів;
- проведення всіх видів масових заходів (окрім біотехнічних заходів, прибирання території заказника та ін.), у тому числі спортивних та військовоспортивних (орієнтування на місцевості, воєнізовані ігри, пейнтбол та ін.);
- внесення в ґрунт мінеральних добрив;

- засмічення території побутовими та промисловими викидами та сміттям;

- інші види діяльності, що можуть призвести до порушення природних комплексів, втрати наукової та природоохоронної цінності охоронюваних на території комплексної пам'ятки природи природних об'єктів.

- оранка земель;

- полювання, розлякування, знищення, відлов (збір) тварин (на всіх стадіях розвитку), розорення та руйнування гнізд, нір і інших помешкань тварин а також порушення умов мешкання тварин;

- знищення охоронних знаків та інформаційних аншлагов;

- порушення ґрунтового покриву;

З іншого боку, тут пропонується дозволити:

- використання території заказника в оздоровчих, рекреаційних та освітньо-виховних цілях;

- збір ягід та грибів.

- проведення науково-дослідних

робіт;

- сінокосіння на ділянках, спеціально відведених для потреб служби охорони заказника;

### Висновки

Фітоценоз, в якому розміщений *S. crispa* є асоціацією *Dicrano-Pinetum*, класу *Vaccinio-Piceetea*, порядку *Pinetalia sylvestris*, союзу *Dicrano-Pinion*.

Гриб *S. crispa* розміщений в умовах, які не піддаються постійному антропогенному тиску. Показники природної динаміки (ST=12,72) відповідають переходу від похідних до молодих корінних лісів. Рівень антропогенної трансформації (HE=5,29) відповідає природним олігомеробним лісам.

Оскільки, поруч із місцезнаходженням гриба *S. crispa* проектується гідрологічний заказник місцевого значення «Прибитоцький» доцільно долучити цю територію до проектного об'єкту ПЗФ.

### Список використаних джерел

Дідух Я. П. Оцінка стійкості та ризиків втрати екосистем. *Наукові записки НаУКМА*. 2014. Т. 158: Біологія та екологія. С. 54–60.

Дідух Я. П. Основи біоіндикації. Київ: Наукова думка, 2012. 342 с.

Дідух Я. П., Плюта П. Г. Фітоіндикація екологічних факторів. Київ, 1994. 280 с.

Дубина Д. В., Дзюба Т. П., Ємельянова С. М. та ін. Прогноз рослинності України. Київ: Наукова думка, 2019. 784 с.

Козин М. С., Хом'як І. В. Синтаксономічна та екосозологічна характеристика природного джерела «Кам'яний брід». Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «*Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції*». Житомир: ЖДТУ, 2021. С. 104.

Лаврик О. Д., Весельська Е. В., Хом'як І. В. Перспективи збереження ландшафтного біорізноманіття Словечансько-Овруцького кряжу шляхом створення національного природного парку. Матеріали II всеукраїнської науково-практичної конференції «*Українське Полісся: проблеми та тренди сучасного розвитку*». Ніжин: НДУ ім. Гоголя, 2022. С. 16–18.

Патрон М. А., Хом'як І. В. Перспективи розширення поліського природного заповідника на території Словечансько-Овруцького кряжу. Зб. наук. праць *Біологічні дослідження – 2021*. Житомир, 2021. С. 338–339.

Хом'як І. В., Василенко О. М., Гарбар Д. А., Андрійчук Т. В., Костюк В. С., Власенко Р. П., Шпаковська Л. В., Демчук Н. С., Гарбар О. В., Онищук І. П., Коцюба І. Ю. Методологічні підходи до створення інтегрованого синфітоіндикаційного показника антропогенної трансформації. *Екологічні науки*. 2020. № 5 (32). Т. 1. С. 136–141. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.5-32.19>

Хом'як І. В., Демчук Н. С., Василенко О. М. Фітоіндикація антропогенної трансформації екосистем на прикладі Українського Полісся. *Екологічні науки*. 2018. №3 (22). С. 113–118.

Хом'як І. В., Козин М. С., Коцюба І. Ю., Василенко О. М., Власенко Р. П. Обґрунтування необхідності охорони витоків малих річок на прикладі Словечансько-Овруцького кряжу. *Екологічні науки*. 2022. № 1 (40). С 28–32. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.1-40.5>

Хом'як І. В., Мшанецька В. В., Костюк В. С., Шпаковська А. В., Демчук Н. С., Андрійчук Т. В., Онищук І. П. Оцінка екозоологічного потенціалу території за допомогою аналізу синфітоіндикаційних моделей динаміки. *Екологічні науки*. 2020, № 6 (33). Т. 1. С. 178–184. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.6-33.27>

Хом'як І. В., Костюк В. С., Гарбар О. В., Демчук Н. С., Андрійчук Т. В., Власенко Р. П., Гарбар Д. А., Онищук І. П., Шпаковська А. В., Омельчук М. О. Особливості розміщення оселищ із різним ступенем антропогенної трансформації. *Екологічні науки*. 2021. № 7. С. 67–71. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.7-34.12>

Choi W. S., Shin P. G., Bok Y. Y., Jun N. H., Kim G. D. Anti-inflammatory effects of *Sparassis crispa* extracts. *Journal of Mushroom* 2013 № 11 (1). P. 46–51.

Faroog M. U., Chioza A., Ohga S. Vegetative development of *Sparassis crispa* in Various Growth Conditions and Effect of Electric Pulse Simulation on Its Fruit Body Production. *Advances in Microbiology*. 2014. № 4. P. 267–274.

Hennekens S. Turboveg for Windows. 1998–2007. Version 2. Wageningen: Inst. voor Bos en Natuur, 2009. 84 p.

Hu S., Wang D., Zhang J., Du M., Cheng Y., Liu Y., Zhang N., Wang D., Wu Y. Mitochondria related pathway is essential for polysaccharides purified from *Sparassis crispa* Mediated Neuro-Protection against Glutamate-Induced Toxicity in Differentiated PC12 Cells. *International Journal of Molecular Sciences*. 2016. № 17 (2). P. 133–146.

Khomiak I., Harbar O., Demchuk N., Kotsiuba I., Onyshchuk I. Above-ground phytomas dynamics in autogenic succession of an ecosystem. *Forestry ideas*. 2019. Vol. 25. № 1 (57). P. 136–146.

Kim S. R., Kang H. W., Ro H. S. Generation and evaluation of high  $\beta$ -glucan producing mutant strains of *Sparassis crispa*, *Mycobiology*. 2013. № 41. P. 159–163.

Kwon A. H., Qiu Z., Hashimoto M., Kimura T. Effects of medicinal mushroom (*Sparassis crispa*) on wound healing in streptozotocin-induced diabetes rats. *The American journal of Surgery*. 2009. № 197. P. 503–509.

Mykchaylova O. B., Gryganskyi A. P., Lomberg M. L., Bisko N. A. The study of morphological and cultural properties of *Sparassis crispa* (Sparassidaceae, Polyporales). *Ukrainian Journal of Ecology*. 2017. № 7(4). P. 550–558.

Harbar O., Khomiak I., Kotsiuba I., Demchuk N., Onyshchuk I. Anthropogenic and natural dynamics of landscape ecosystems of the Slovechansko-Ovruchsky ridge (Ukraine). *Socijalna ekologija*. 2021. Vol. 30. № 3. P. 347–367.

Shim J. O., Son S. G., Yoon S. O., Lee Y. S., Lee T. S., Lee S. S., Lee K. D., Lee M. W. The optimal Factors for the Mycelial Growth of *Sparassis crispa*. *Korean Journal of Mycology*. 1998. № 26(1). P. 39–46.

Tada R., Harada T., Nagi-Miura N., Adachi Y., Nakajima M., Yadomae T., Ohno N. NMR characterization of the structure of a  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 3)-D-glucan isolate from cultured fruit bodies of *Sparassis crispa*. *Carbohydrate Research*. 2007. № 342(17). P. 2611–2618.

Takashi K. Natural Products and Biological Activity of the Pharmacologically Active Cauliflower Mushroom *Sparassis crispa*. *BioMed Research International*. 2013. № 11. P 1–9.

Westhoff V, Maarel E. van der. The Braun-Blanquet approach. Handbook of Vegetation Science. Part V: Ordination and Classification of Vegetation. Ed. By R. H. Whittaker. The Hague, 1973. – P. 619–726.



Woodward S., Sultan H. Y., Barrett D. K., Pearce R. B. Two new antifungal metabolites produced by *Sparassis crispa* in culture and in decayed trees. *Microbiology*. 1993. V. 139(1). P. 153–159.

Yamamoto K., Kimura T., Sugitachi A., Matsuura N. Anti-angiogenic and anti-metastatic effects of  $\beta$ -1, 3-D-glucan purified from Hanabiratake, *Sparassis crispa*. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*. 2009. № 32(2). P. 259–263.

Yang Y.H., Kang H-W., Ro H.S. Cloning and molecular characterization of  $\beta$ -1,3-glucan synthase from *Sparassis crispa*. *Mycobiology*. 2014. № 42(2). P. 167–173.

Yoshikawa K., Kokudo N., Hashimoto T., Yamamoto K., Inose T., Kimura T. Novel Phthalate Compounds from *Sparassis crispa* (Hanabiratake), Hanabiratakelide A-C, exhibiting anticancer related activity. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*. 2010. № 33(1). P. 1355–1359.

### References (translated & transliterated)

Didukh, Y.P. (2014). Otsinka stiičnosti ta ryzykiv vtraty ecosystem [Assessing sustainability and risks of ecosystem loss]. *NaUKMA Research Papers. Biology and Ecology*, 158, 54–60. [in Ukrainian].

Didukh, Y.P. (2012). Osnovy bioindykatsii [Basics of bioindication]. Kyiv: Naukova dumka, [in Ukrainian].

Didukh, Y.P., Pliuta, P.G. (1994). Fitoindykatsiia ekolohichnykh faktoriv [Phytoindication of environmental factors]. Kyiv: Naukova dumka, [in Ukrainian].

Dubyna, D.V., Dziuba, T.P., Iemelianova S.M. at al. (2019). Prodrum roslynnosti Ukrainy [Prodrome of the vegetation of Ukraine]. Kyiv: Naukova dumka, [in Ukrainian].

Kozyn, M.S., Khomiak, I.V. (2021). Syntaksonomichna ta ekosozolohichna kharakterystyka pryrodnoho dzherela «Kamiany brid» [Syntaxonomic and ecosozological characteristics of the natural spring "Stone ford"]. Materials of the scientific and practical conference of higher education graduates and young scientists "Sustainable development of the country within the framework of European integration". Zhytomyr: ZSTU, 104. [in Ukrainian].

Lavryk, O.D., Veselska, E.V., Khomiak, I.V. (2022). Perspektyvy zberezhennia landsaftnoho bioriznomanittia Slovechansko-Ovrutskoho kriazhu shliakhom stvorennia natsionalnoho pryrodnoho parku [Prospects for preserving the landscape biodiversity of the Slovakian-Ovrutsky Range through the creation of a national nature park]. Materials of the scientific and practical conference "Ukrainian Polissia: problems and trends of modern development". Nizhyn: DPU named M. Gogol, 16–18. [in Ukrainian].

Patron, M.A., Khomiak, I.V. (2021). Perspektyvy rozshyrennia poliskoho pryrodnoho zapovidnyka na terytorii Slovechansko-Ovrutskoho kriazhu [Prospects for the expansion of the Polissya nature reserve on the territory of the Slovechansko-Ovrutsky Ridge]. Collection of scientific works of the XII All-Ukrainian Scientific and Practical Conference «Biological Research – 2021». Zhytomyr, 338–339. [in Ukrainian].

Khomiak, I.V., Vasylenko, O.M., Garbar, D.A., Andriychuk, T.V., Kostiuk, V.S., Vlasenko, R.P., Demchuk, N.S., Garbar, O.V. at al. (2020). Metodolohichni pidkhody do stvorennia intehrovanoho synfitoindykatsiinoho pokaznyka antropohennoi transformatsii [Methodological approaches to the creation of an integrated synphyto-indicative indicator of anthropogenic transformation]. *Ecological Sciences*, 5 (32), 136–141. [in Ukrainian]. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.5-32.19>

Khomiak, I.V., Demchuk, N.S., Vasylenko, O.M. (2018). Fitoindykatsiia antropohennoi transformatsii ekosystem na prykladi Ukrainiskoho Polissia [Phytoindication of anthropogenic transformation of ecosystems on the example of Ukrainian Polissia]. *Ecological Sciences*, 3 (22), 113–118. [in Ukrainian].

Khomiak, I.V., Kozyn, M.S., Kotsiuba, I.Y., Vasylenko, O.M., Vlasenko, R.P. (2022). Obgruntuvannia neobkhdnosti okhorony vytokiv malykh richok na prykladi Slovechansko-Ovrutskoho kriazhu [Justification of the need to protect the sources of

- small rivers on the example of the Slovechansko-Ovrutsky Ridge]. *Ecological Sciences*, 1 (40), 28–32. [in Ukrainian]. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.1-40.5>
- Khomiak, I.V., Mshanetska, V.V., Kostyuk, V.S., Shpakovska, L.V., Demchuk, N.S., Andriychuk, T.V., Onyshchuk, I.P. (2020). Otsinka ekosozolohichnoho potentsialu terytorii za dopomohoiu analizu synfitoindykatsiinykh modelei dynamiky [Assessment of the ecological potential of the territory using the analysis of synphytoindicative models of dynamics]. *Ecological Sciences*, 6 (33), 178–184. [in Ukrainian]. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.6-33.27>
- Khomiak, I.V., Kostyuk, V.S., Garbar, O.V., Demchuk, N.S., Andriychuk, T.V., Vlasenko, R.P., Garbar, D.A., Onyshchuk, I.P., Shpakovska, L.V., Omelchuk, M.O. (2021). Osoblyvosti rozmishchennia oselyshch iz riznym stupenem antropohennoi transformatsii [Features of the placement of settlements with different degrees of anthropogenic transformation]. *Ecological Sciences*, 7, 67–71. [in Ukrainian]. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.7-34.12>
- Choi, W. S., Shin, P. G., Bok, Y. Y., Jun, N. H., Kim, G. D. (2013). Anti-inflammatory effects of *Sparassis crispa* extracts. *Journal of Mushroom*, 11 (1), 46–51. <https://doi.org/10.14480/JM.2013.11.1.046> [in English].
- Faroog, M. U., Chioza, A., Ohga, S. (2014). Vegetative development of *Sparassis crispa* in Various Growth Conditions and Effect of Electric Pulse Simulation on Its Fruit Body Production. *Advances in Microbiology*, 4, 267–274. <http://dx.doi.org/10.4236/aim.2014.45033> [in English].
- Hennekens, S. (2009). Turboveg for Windows. 1998–2007. Version 2. Wageningen: Inst. voor Bos en Natuur. [in English].
- Hu, S., Wang, D., Zhang, J., Du, M., Cheng, Y., Liu, Y., Zhang, N., Wang, D., Wu, Y. (2016). Mitochondria related pathway is essential for polysaccharides purified from *Sparassis crispa* Mediated Neuro-Protection against Glutamate-Induced Toxicity in Differentiated PC12 Cells. *International Journal of Molecular Sciences*, 17 (2), 133–146. <https://doi.org/10.3390%2Fijms17020133> [in English].
- Khomiak, I., Harbar, O., Demchuk, N., Kotsiuba, I., Onyshchuk, I. (2019). Above-ground phytomas dynamics in autogenic succession of an ecosystem. *Forestry ideas*, Vol. 25, 1 (57), 136–146. [in English].
- Kim, S. R., Kang, H. W., Ro, H. S. (2013). Generation and evaluation of high  $\beta$ -glucan producing mutant strains of *Sparassis crispa*. *Mycobiology*, 41, 159–163. <https://doi.org/10.5941/myco.2013.41.3.159> [in English].
- Kwon, A. H., Qiu, Z., Hashimoto, M., Kimura, T. (2009). Effects of medicinal mushroom (*Sparassis crispa*) on wound healing in streptozotocin-induced diabetes rats. *The American journal of Surgery*, 197, 503–509. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2007.11.021> [in English].
- Mykchaylova, O. B., Gryganskyi, A. P., Lomberg, M. L., Bisko, N. A. (2017). The study of morphological and cultural properties of *Sparassis crispa* (Sparassidaceae, Polyporales). *Ukrainian Journal of Ecology*, 7(4), 550–558. [https://doi.org/10.15421/2017\\_159](https://doi.org/10.15421/2017_159) [in English].
- Harbar, O., Khomiak, I., Kotsiuba, I., Demchuk, N., Onyshchuk, I. (2021). Anthropogenic and natural dynamics of landscape ecosystems of the Slovechansko-Ovruchsky ridge (Ukraine). *Socijalna ekologija*, Vol. 30, 3, 347–367. <https://doi.org/10.17234/SocEkol.30.3.1> [in English].
- Shim, J. O., Son, S. G., Yoon, S. O., Lee, Y. S., Lee, T. S., Lee, S. S., Lee, K. D., Lee, M. W. (1998). The optimal Factors for the Mycelial Growth of *Sparassis crispa*. *Korean Journal of Mycology*, 26(1), 39–46. [in English].
- Tada, R., Harada, T., Nagi-Miura, N., Adachi, Y., Nakajima, M., Yadomae, T., Ohno, N. (2007). NMR characterization of the structure of a  $\beta$ -(1→3)-D-glucan isolate from cultured fruit bodies of *Sparassis crispa*. *Carbohydrate Research*, 342(17), 2611–2618. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2007.08.016> [in English].

Takashi, K. (2013). Natural Products and Biological Activity of the Pharmacologically Active Cauliflower Mushroom *Sparassis crispa*. *BioMed Research International*, 11. <https://doi.org/10.1155/2013/982317> [in English].

Westhoff, V., Maarel, E. van der (1973). The Braun-Blanquet approach. Handbook of Vegetation Science. Part V: Ordination and Classification of Vegetation. Ed. By R. H. Whittaker. The Hague, 619–726. [in English].

Woodward, S., Sultan, H. Y., Barrett, D. K., Pearce, R. B. (1993). Two new antifungal metabolites produced by *Sparassis crispa* in culture and in decayed trees. *Microbiology*, V. 139(1), 153–159. <https://doi.org/10.1099/00221287-139-1-153> [in English].

Yamamoto, K., Kimura, T., Sugitachi, A., Matsuura, N. (2009). Anti-angiogenic and anti-metastatic effects of  $\beta$ -1, 3-D-glucan purified from Hanabiratake, *Sparassis crispa*. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 32(2), 259–263. <https://doi.org/10.1248/bpb.32.259> [in English].

Yang, Y.H., Kang, H-W., Ro, H.S. (2014). Cloning and molecular characterization of  $\beta$ -1,3-glucan synthase from *Sparassis crispa*. *Mycobiology*, 42(2), 167–173. <https://doi.org/10.5941/MYCO.2014.42.2.167> [in English].

Yoshikawa, K., Kokudo, N., Hashimoto, T., Yamamoto, K., Inose, T., Kimura, T. (2009). Novel Phthalate Compounds from *Sparassis crispa* (Hanabiratake), Hanabiratakelide A-C, exhibiting anticancer related activity. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 33(1), 1355–1359. <https://doi.org/10.1248/bpb.33.1355> [in English].

Отримано: 8 вересня 2022  
Прийнято: 6 листопада 2022



УДК 593.12

DOI 10.35433/naturaljournal.2.2023.19-33

## НОВІ ЗНАХІДКИ ГОЛИХ ФІЛОЗНИХ АМЕБ У ПРИРОДНИХ БІОТОПАХ УКРАЇНИ

М. К. Пацюк<sup>1</sup>

У різних типах водойм України нами ідентифіковано 10 видів голих філозних амеб. Для усіх видів складені оригінальні морфологічні описи. Найпоширенішими видами є *Arachnula impatiens*, *Penardia mutabilis*, *Nuclearia delicatula*, *Biomyxa vagans*, *Vampyrellidium perforans*, *Nuclearia flavocapsulata*, найменш поширеними – *Vampyrella lateritia*, *Lateromyxa gallica*, *Leptophrys elegans*, *Leptophrys vorax*. Встановлені екологічні групи цих протистів за відношенням до абіотичних факторів водного середовища: евриоксидні (*N. delicatula*, *N. flavocapsulata*, *A. impatiens*, *P. mutabilis*, *L. elegans*, *L. vorax*, *V. lateritia*), стенооксидні (*V. perforans*, *B. vagans*, *L. gallica*), стенобіонтні (*A. impatiens*, *V. perforans*, *B. vagans*, *L. gallica*) та ті, які витримують широкий діапазон значень перманганатної окислюваності (*N. delicatula*, *N. flavocapsulata*, *P. mutabilis*, *L. elegans*, *L. vorax*, *V. lateritia*). Найбільша кількість видів цих протистів спостерігається в річках (8 видів) і заплавних водоймах (7 видів), найменша – у болотах (3 види); в озерах знайдено 5 видів філозних амеб. *P. mutabilis* траплялась нам лише в річках, у болотах – *B. vagans*, у заплавних водоймах – *V. perforans*. У всіх типах водойм траплялися види *L. elegans* та *L. vorax*, які можна вважати евритопними.

Найбільша частка спільних видів голих амеб відмічається між річками і заплавними водоймами (0,80), річками і озерами (0,77), заплавними водоймами й озерами (0,67) та озерами і болотами (0,50), найменша – між заплавними водоймами і болотами (0,40) та річками і болотами (0,36). За видовим складом голих філозних амеб виділено два видових комплекси: болотний та заплавний, що включає види, які переважно трапляються в річках та водоймах, розміщених у долинах річок. На видові комплекси річок, заплавних водойм та боліт у більшій мірі впливають температура води й концентрація розчинених у воді органічних речовин, у меншій мірі – концентрація розчиненого в воді кисню. Видовий склад амеб річок і заплавних водойм пов'язаний із вищою температурою та підвищеним вмістом розчинених у воді органічних речовин у порівнянні з видовим складом амеб боліт.

**Ключові слова:** голі філозні амеби, видові комплекси, природні біотопи України.

<sup>1</sup> кандидат біологічних наук, доцент  
кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття  
(Житомирський державний університет імені Івана Франка)  
e-mail: kostivna@ukr.net  
ORCID 0000-0003-1185-8101

## NEW FINDINGS OF THE NAKED FILOSE AMOEBAE IN NATURAL BIOTOPES OF UKRAINE

M. K. Patsyuk

We have identified 10 species of naked filose amoebae in different types of water bodies in Ukraine. Original morphological descriptions have been compiled for all species. The most common species are *Arachnula impatiens*, *Penardia mutabilis*, *Nuclearia delicatula*, *Biomyxa vagans*, *Vampyrellidium perforans*, *Nuclearia flavocapsulata*, the least common are *Vampyrella lateritia*, *Lateromyxa gallica*, *Leptophrys elegans*, *Leptophrys vorax*. Established ecological groups of these protists in relation to the abiotic factors of the aquatic environment: euryoxidic (*N. delicatula*, *N. flavocapsulata*, *A. impatiens*, *P. mutabilis*, *L. elegans*, *L. vorax*, *V. lateritia*), stenooxidic (*V. perforans*, *B. vagans*, *L. gallica*), stenobionts (*A. impatiens*, *V. perforans*, *B. vagans*, *L. gallica*) and those that withstand a wide range of permanganate oxidation values (*N. delicatula*, *N. flavocapsulata*, *P. mutabilis*, *L. elegans*, *L. vorax*, *V. lateritia*). The largest number of species of these protists is observed in rivers (8 species) and floodplains (7 species), the smallest – in swamps (3 species); 5 species of filose amoeba were found in the lakes. We encountered *P. mutabilis* only in rivers, *B. vagans* in swamps, and *V. perforans* in floodplains. *L. elegans*, *L. vorax* species, which can be considered eurytopic, occurred in all types of reservoirs. The largest share of common species of naked amoebas is observed between rivers and floodplains (0.80), rivers and lakes (0.77), floodplains and lakes (0.67) and lakes and swamps (0.50), the smallest – between floodplains reservoirs and swamps (0.40) and rivers and swamps (0.36). According to the species composition of naked filose amoebae, two species complexes are distinguished: swamp and floodplain, which includes species that mainly occur in rivers and in reservoirs located in river valleys. The species complexes of rivers, floodplains and swamps are influenced to a greater extent by water temperature and the concentration of organic substances dissolved in water, and to a lesser extent by the concentration of oxygen dissolved in water. The species composition of naked filose amoebas of rivers and floodplains is associated with a higher temperature and a higher content of organic substances dissolved in water compared to the species composition of swamp amoebas.

**Keywords:** naked filose amoebae, species complexes, natural biotopes of Ukraine.

### Вступ

Голі філозні амеби – вільноживучі, гетеротрофні, фаготрофні протисти, всесвітньо поширені, найчастіше трапляються в прісних та солонуватих водоймах, ґрунтах. Ці твариноподібні організми швидко реагують на зміни умов оточуючого середовища. Харчуються переважно одноклітинними водоростями та грибами, різними протистами, бактеріями, ціанобактеріями. Форма клітин представників мінлива: від округлої бульбашкоподібної до сплющеної витягнутої. Утворюють довгі гострі псевдоподії – філоподії. Цитоплазма часто диференціюється в дрібнозернисту, сильно вакуолізовану структуру та гіалоплазму; остання часто оточує всю клітину. Життєвий цикл включає амебоїдні, вільно рухомі трофозоїти, обов'язково наявні травні цисти, в яких зазвичай відбувається поділ клітин; клітини деяких представників можуть зливатися і утворювати плазмодії великих розмірів. Статевий процес невідомий.

Група протистів включає однопідрядних та багатоядерних представників (Adl et al., 2019).

Дослідження голих філозних амеб ускладнюється їх невеликими розмірами, обмеженою кількістю відмінних морфологічних ознак і масштабністю екосистем (Patterson et al., 2000). Видовий склад цих протистів залежить від біотичних й абіотичних факторів середовища, що й визначає їх розподіл в екосистемах. Хоча голі філозні амеби були відкриті понад 150 років тому (Ceinkowski, 1865), інформація щодо їх поширення в природних біотопах та негативного впливу на рослини, тварини та людину відсутня. Практично єдиним способом отримати дані для фауністичного аналізу є вивчення проб, отриманих із віддалених місцезнаходжень, і порівняння їх з видами, виявлених у складі локальних фаун. У зв'язку з цим, нами проведено вивчення голих філозних амеб, ізольованих з водойм Житомирської, Львівської та Рівненської областей. Крім того, це

дослідження є актуальним тому, що фауна прісноводних голих філозних амеб України залишається недослідженою.

### Матеріал і методи

Натурні дослідження проводились у продовж 2015–2020 рр. у водоймах

різних типів Житомирської, Львівської та Рівненської областей. Усього за період дослідження проаналізовано 560 проб у 20 пунктах збору (рис. 1).



Рис. 1. Пункти збору матеріалу

Було досліджено за допомогою сучасних методів світлової мікроскопії, зокрема диференційно-інтерференційного контрасту, біля 200 особин голих філозних амеб.

Проби (воду та скаламучені донні відклади) відбирали вручну в скляні посудини ємкістю до 500 мл і доставляли до лабораторії. Амеб виділяли з проб, в які входили верхній шар донного ґрунту і невелика кількість придонної води. Розмноження амеб проводили в чашках Петрі діаметром 100 мм на непоживному агарі (non-nutrient agar) за методикою Пейджа (Page & Siemensma, 1991). Кожну культуру амеб розглядали один раз у п'ять днів за допомогою світлового мікроскопа «Ломо МБР-3». Для того, щоб встановити видову приналежність голих філозних амеб, клітину з кожної чашки Петрі відтягували довгою піпеткою Пастера в чашки Петрі діаметром 100 мм з 1,5%-им непоживним агар-агаром (non-nutrient agar), який готували на мінеральному середовищі Прескота-Джеймса (PJ) і

знову розмножували. Мінеральне середовище (PJ) мало наступний склад (Page & Siemensma, 1991): готували три основні розчини.

Основний розчин А (на 100 мл дистильованої води)

$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  0.433 г

KCl 0.162 г

Основний розчин В (на 100 мл дистильованої води)

$\text{K}_2\text{HPO}_4$  0.512 г

Основний розчин С (на 100 мл дистильованої води)

$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0.280 г

По 1 мл кожного вихідного розчину розчиняли у 997 мл дистильованої води.

Амеб підтримували в культурах за температури +20 °С.

Спостереження за найпростішими проводили за допомогою світлового мікроскопа Axio Imager M1 (Центр колективного користування науковими приладами «Animalia» Інституту зоології ім. І. І. Шмальгаузена) із застосуванням диференційного інтерференційного контрасту, відсаджуючи живі клітини в краплі води на предметні скельця.

Для ідентифікації видів амеб використовували таксономічний визначник Ф. Пейджа (Page & Siemensma, 1991). Проміри здійснювали на інтактних клітинах. Вимірювали близько 10 амеб із кожного штаму. Вимірювання клітин проводили за допомогою окуляр-мікрометра ( $\times 40$ ). Під час відбору проб визначали основні фізико-хімічні показники досліджуваних водойм – температуру води, вміст розчиненого в воді кисню та органічних речовин (за перманганатною окислюваністю) (Набиванець та ін., 2007).

Сучасні дослідження не дозволяють отримати дані щодо чисельності голих філозних амеб, тому в наших дослідженнях ми визначали частоту трапляння видів ( $R$ ).  $R$  розраховували, як частку проб, в яких знайдений вид від загального числа досліджених проб (Raunkiaer, 1934). Амеби вважалися найбільш поширеними, якщо частота трапляння видів складала 50 % і більше, від 30 % до 50 % – займали середнє положення за частотою трапляння, менше 30 % – найменш поширені види (Raunkiaer, 1934).

Для порівняння фауністичних списків використано індекс Чекановського-С'єренсена, побудову дендрограми та визначення її стабільності за допомогою Bootstrap-аналізу та багатовимірного аналізу з використанням програми PAST 1.18 (Hammer et al., 2001).

Геномна ДНК була виділена за допомогою гуанідин-ізотіоціанатного методу (Maniatis et al., 1982). Ген 18S рРНК ампліфікували з використанням універсальних еукаріотичних праймерів RibA 5'-ACCTGGTTGATCCTGCCAGT-3' та RibB 5'-TGATCCTTCTGCAGGTTACCTAC-3' (Medlin et al., 1988). Порівняння отриманих послідовностей ДНК із даними ГенБанку (GenBank) проводилось за допомогою програми BLAST (NCBI) (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>). На основі елайменту, який складається

з послідовностей гену 18S рРНК для представника роду *Penardia* Cash, 1904 проведений філогенетичний аналіз за допомогою програми MEGA 10.0 (Kumar et al., 2018). Для філогенетичного аналізу використані як одержаний нами секвенс, так і секвенси інших видів голих філозних амеб, які доступні в базі даних GenBank.

### Результати

У різних типах водойм Житомирської, Львівської та Рівненської областей нами знайдено 10 видів голих філозних амеб: *Nuclearia delicatula* Cienkowski, 1865, *Nuclearia flavocapsulata* Patterson, 1984, *Arachnula impatiens* Cienkowski, 1876, *Vampyrellidium perforans* Surek & Melkonian, 1980, *Biomyxa vagans* Leidy, 1879, *Penardia mutabilis* Cash, 1904, *Leptophrys elegans* Hertwig & Lesser, 1874, *Leptophrys vorax* Zopf, 1885, *Vampyrella lateritia* Fresenius, 1856, *Lateromyxa gallica* Hülsmann, 2007. Нижче наведена коротка морфологічна характеристика, місцезнаходження та значення факторів водного середовища, за яких реєструвались ці протисти.

*Nuclearia delicatula* Cienkowski, 1865

Клітини мінливої форми: округлі, видовжені, сплющені. Слизова оболонка, яка оточує клітину має товщину від 2 до 3 мкм. На оболонці помітна велика кількість бактерій. Філоподії відходять від усіх ділянок сферичної клітини. Якщо клітина прикріплюється до субстрату може утворюватися коротка товста псевдоподія, яка постійно скорочується. Рух обмежується розтягуванням та рефракцією цитоплазми. Гіалінові ділянки з загостреними псевдоподіями виникають поступово. Псевдоподії можуть розширюватися дистально від поверхні клітини (як округлої так і видовженої форми). Кристали в цитоплазмі клітини відсутні. Найхарактернішою особливістю *N. delicatula* є її легка трансформація з



кулеподібної в трофічну розпластану форму. Локомоція амєб повільна. В цитоплазмі клітини наявні три скоротливі вакуолі.

Діаметр округлих амєб від 25 до 46 мкм, видовжені трофічні форми – 42 мкм у довжину, у ширину – 62 мкм.

Амєби багатоядерні (від 5 до 10). Діаметр ядер від 7,0 до 13,5 мкм. Ядерця переважно округлої форми. Розмножуються бінарним поділом.

Утворення цист у культурах не спостерігали.

Місцезнаходження. Прісноводний вид (Page & Siemensa, 1991). Нами знайдений у річках, озерах і заплавах водоймах Житомирської, Львівської та Рівненської областей.

Екологія. Амєби траплялися за температури води водойм від +5 °С до +21 °С; концентрації розчиненого в воді кисню від 9,34 мг/л до 24,18 мг/л; концентрації розчинених у воді органічних речовин від 12,80 мг O<sub>2</sub>/л до 30,02 мг O<sub>2</sub>/л.

*Nuclearia flavocapsulata* Patterson, 1984

Клітина округлої форми з в'язкою слизистою оболонкою, до якої часто прикріплюються бактерії. Філоподії тоненькі, не галузяться, відходять від усіх частин клітини. У цитоплазмі клітини містяться скоротливі вакуолі (від 2 до 4).

Розмір клітини від 33 до 38 мкм.

Амєби одноядерні. Ядро розміщується в центрі клітини, округлої форми з центральним ядерцем. Діаметр ядра 16,5 мкм.

Утворення цист у культурах не спостерігали.

Місцезнаходження. Прісноводний вид (Page & Siemensa, 1991). Нами знайдений у річках і заплавах водоймах Житомирської, Львівської та Рівненської областей.

Екологія. Амєби траплялися за температури води водойм від +5 °С до +18 °С; концентрації розчиненого в воді кисню від 9,34 мг/л до 24,18 мг/л; концентрації розчинених у воді органічних речовин від 12,80 мг O<sub>2</sub>/л до 30,02 мг O<sub>2</sub>/л.

*Arachnula impatiens* Cienkowski, 1876

Клітина має форму неправильного ланцюжка. Цитоплазма клітини галузиться й утворює довгі плоскі вирости – філоподії (зазвичай під прямим кутом). Клітина безбарвна, цитоплазма дуже рідка з гранулами, які мають здатність заломлюватися. Амєбам властивий енергетичний рух, складається враження, що вся клітина кипить, тремтить, нагадує рух павука. У цитоплазмі клітини наявні гранули, які рухаються в двох напрямках.

Скоротливих вакуолей від 3 до 6.

Клітини багатоядерні. За ядрами важко спостерігати в культурах.

Місцезнаходження. Відомий з прісних та солонуватих водойм (Page & Siemensa, 1991). Нами знайдений у річках та озерах Львівської та Рівненської областей.

Екологія. Амєби траплялися за температури води водойм від +5 °С до +21 °С; концентрації розчиненого в воді кисню від 9,34 мг/л до 24,18 мг/л; концентрації розчинених у воді органічних речовин від 12,80 мг O<sub>2</sub>/л до 26,52 мг O<sub>2</sub>/л.

*Vampyrellidium perforans* Surek & Melkonian, 1980

Амєби сферичної форми з волокнистими, галузистими, іноді анастомозуючими псевдоподіями. Форма клітини від кулеподібної до видовженої амєбоподібної, оточена слизовою оболонкою. Флотуюча (плаваюча) форма *V. perforans* кулеподібна з довгими, рідко галузистими волокнистими псевдоподіями, які відходять від поверхні клітини; прикріплена до субстрату форма – амєбоподібна. Зміна напрямлення руху ініціюється утворенням нових волокнистих псевдоподій у відповідному місці на поверхні клітини. У крупних амєб відстань між кінчиками псевдоподій досягає 220 мкм. Довжина клітини з псевдоподіями досягає 180 мкм. Діаметр кулеподібних клітин від 6 до 20 мкм; ниткоподібних псевдоподій – 50–56 мкм. Скоротливих вакуолей від 1 до 4, діаметр яких складає 3,8 мкм.



Одноядерні амеби, діаметр ядер від 1,8 до 5,5 мкм.

Утворення цист у культурах не спостерігали.

Місцезнаходження. Прісноводний вид (Page & Siemensma, 1991). Нами знайдений у заплавах водоймах Житомирської та Рівненської областей.

Екологія. Амеби траплялися за температури води водойм від +12 °С до +20 °С; концентрації розчиненого в воді кисню від 12,84 мг/л до 20,83 мг/л; концентрації розчинених у воді органічних речовин від 10,84 мг O<sub>2</sub>/л до 25,92 мг O<sub>2</sub>/л.

*Biomyxa vagans* Leidy, 1879

Клітина має прозору, напіввідку протоплазму. Плаваюча форма кулеподібна. Прикріплена до субстрату клітина сильно видовжується, галузиться на сітку тонких ниточок. Тоненькі псевдоподії можуть скупчуватися на кінцях. Клітина округла, яйцеподібна, під час руху утворює галузисті псевдоподії, які «зростаються», утворюючи складну сітку. Уздовж ниткоподібних псевдоподій помітна циркуляція дрібних гранул. Відмінностей між ектоплазмою й ендоплазмою ми не спостерігали. Протоплазматична сітка добре розвинена, потік плазми активний. Рух амеби дуже повільний, але неперервний. Довжина рухомих амеб 350–510 мкм.

У клітині знаходиться велика кількість дрібних вакуолей.

Одноядерні. Діаметр ядра до 10 мкм.

Місцезнаходження. Прісноводний вид. Відомий з епіфітних та епілітних біотопів (Page & Siemensma, 1991). Нами знайдений у болотах Житомирської та Рівненської областей.

Екологія. Амеби траплялися за температури води водойм від +10 °С до +18 °С; концентрації розчиненого в воді кисню від 10,11 мг/л до 16,84 мг/л; концентрації розчинених у воді органічних речовин від 8,35 мг O<sub>2</sub>/л до 15,01 мг O<sub>2</sub>/л.

*Penardia mutabilis* Cash, 1904

Тіло видовжене, псевдоподії тонкі, загострені, галузяться й анастомозуються, можуть утворювати

сітку. Рух швидкий. Розтягнута клітина має довжину 250–320 мкм.

Діаметр ядер від 5,6 до 7,5 мкм.

Місцезнаходження. Прісноводний вид (Page & Siemensma, 1991). Нами знайдений у річках Житомирської області.

Екологія. Амеби траплялися за температури води водойм від +5 °С до +21 °С; концентрації розчиненого в воді кисню від 9,34 мг/л до 24,18 мг/л; концентрації розчинених у воді органічних речовин від 12,80 мг O<sub>2</sub>/л до 30,02 мг O<sub>2</sub>/л.

Послідовність гену 18S рРНК у GenBank за номером OQ134484.

*Leptophrys elegans* Hertwig & Lesser, 1874

Трофозоїти мають стрічкоподібну форму, цитоплазма клітини прозора, в ній міститься велика кількість дрібних перлиноподібних включень; філоподії тонкі, довгі, не галузяться, утворюються переважно з тоненької гіалінової кайми цитоплазми. Рух амеб безперервний, постійно змінюють форму. Протоплазма сильно вакуолізована.

Розмір видовженого тіла амеби складає від 165 до 280 мкм.

Утворення цист у культурах не спостерігали.

За ядрами важко спостерігати в культурах.

Місцезнаходження. Прісноводний вид (Page & Siemensma, 1991; Kerper, 1906). Нами знайдений у річках, заплавах водоймах, озерах і болотах Житомирської, Львівської та Рівненської областей.

Екологія. Амеби траплялися за температури води водойм від +5 °С до +22 °С; концентрації розчиненого в воді кисню від 6,74 мг/л до 28,01 мг/л; концентрації розчинених у воді органічних речовин від 8,35 мг O<sub>2</sub>/л до 34,26 мг O<sub>2</sub>/л.

*Leptophrys vorax* Zopf, 1885

Трофозоїти постійно змінюють форму; сплющені й мають здатність «розтікатися» по поверхні. Амеби зазвичай віялоподібної форми, можуть галузитися на декілька довгих псевдоподій. Під час повільної локомоції в амеб утворюються липкі хвости, які витягуються або втягуються. Довгі,

тонкі псевдоподії утворюються переважно з гіалінової кайми цитоплазми по краям клітини. Псевдоподії не галузяться. Скупчення псевдоподій вказує на напрямок руху та розтягування клітини. Цитоплазма безбарвна, сильно вакуолізована, гранули мають здатність заломлюватися.

Розміри клітини від 50 до 520 мкм.

Утворення цист у культурах не спостерігали.

Багатоядерні (від 4 до 6). Діаметр ядер складає 3,0–3,4 мкм.

Місцезнаходження. Прісноводний вид (Page & Siemensa, 1991; Kerper, 1906). Нами знайдений у річках, заплавах водоймах, озерах і болотах Житомирської, Львівської та Рівненської областей.

Екологія. Амеби траплялися за температури води водойм від +5 °С до +22 °С; концентрації розчиненого в воді кисню від 6,74 мг/л до 28,01 мг/л; концентрації розчинених у воді органічних речовин від 8,35 мг O<sub>2</sub>/л до 34,26 мг O<sub>2</sub>/л.

*Vampyrella lateritia* Fresenius, 1856

Клітини кулеподібної форми, іноді ширина перевищує довжину по відношенню до напрямку руху. Від клітини відходять тонкі, довгі псевдоподії, у напрямку руху останні скупчуються. Псевдоподії не галузяться. Уздовж псевдоподій рухаються гранули, які мають здатність заломлюватися. У наших культурах клітини безбарвні. Цитоплазма сильно вакуолізована. У товщі води амеби вільно плавають або незграбно рухаються. У старих культурах амеби зливаються в великі деформовані плазмодії.

Розмір трофозоїтів від 32 до 60 мкм.

Багатоядерні (від 2 до 4). Діаметр ядер складає 2,2–3,5 мкм.

Місцезнаходження. Прісноводний вид (Page & Siemensa, 1991). Нами знайдений у річках, заплавах водоймах та озерах Житомирської, Львівської та Рівненської областей.

Екологія. Амеби траплялися за температури води водойм від +5 °С до +21 °С; концентрації розчиненого в воді кисню від 9,34 мг/л до 24,18 мг/л; концентрації розчинених у воді

органічних речовин від 12,80 мг O<sub>2</sub>/л до 30,02 мг O<sub>2</sub>/л.

*Lateromyxa gallica* Hülsmann, 2007

Цитоплазма прозора, сильно вакуолізована, наявна велика кількість кристалів, які зосереджуються переважно в центральній частині клітини.

Псевдоподії довгі, загострені, під час локомоції підіймаються над поверхнею клітини. Утворюються в фронтолатеральній ділянці клітини, зникають – у каудальній частині шляхом латерального злиття з поверхнею клітини.

Довжина амеб від 40 до 350 мкм.

Утворення цист у культурах не спостерігали.

Багатоядерні. Діаметр ядер 3,0–4,8 мкм.

Місцезнаходження. Прісноводний вид (Page & Siemensa, 1991; Hulsman, 1993). Нами знайдений у річках і заплавах водоймах Львівської та Рівненської областей.

Екологія. Амеби траплялися за температури води водойм від +12 °С до +18 °С; концентрації розчиненого в воді кисню від 18,42 мг/л до 20,11 мг/л; концентрації розчинених у воді органічних речовин від 10,54 мг O<sub>2</sub>/л до 26,17 мг O<sub>2</sub>/л.

### Обговорення

За частотою трапляння в природних біотопах України найпоширенішими є такі філозні амеби: *A. impatiens* (68 %), *P. mutabilis* (58 %), *N. delicatula* (56 %), *B. vagans* (53 %), *V. perforans* (51 %), *N. flavocapsulata* (50 %). Інші види виявилися малопоширеними – *V. lateritia* (8 %), *L. gallica* (8 %), *L. elegans* (3 %), *L. vorax* (2,5 %) (рис. 2).

Поширення більшості протистів (черепашкових амеб, голих амеб, інфузорій, гетеротрофних джгутіконосців, форамініфер), їх видове багатство, частота трапляння зумовлені абіотичними факторами водного середовища (Booth, 2001; Foissner, 1987; Foissner, 1998; Foissner, 2006; Kucera et al., 2002; Meisterfeld et al., 2001). Під час дослідження фауни

голих філозних амеб різнотипних водойм Житомирської, Львівської та Рівненської областей здійснювали й визначення гідрофізичних та гідрохімічних параметрів водного

середовища. Загалом оцінювали ті значення чинників середовища, за яких відмічали певні види голих філозних амеб (табл. 1).

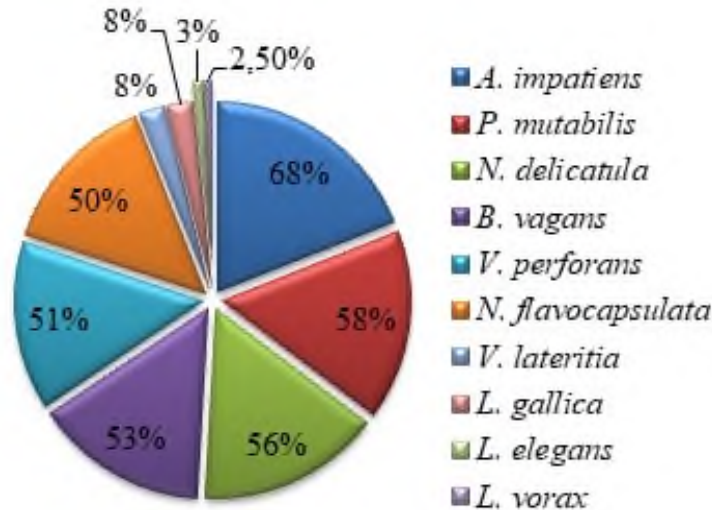


Рис. 2. Частота трапляння голих філозних амеб у водоймах України

Таблиця 1.

Значення гідрофізичних та гідрохімічних параметрів досліджуваних водойм України, за яких реєструвались голі філозні амеби

№ п/п	Види амеб	Температура, °С	Вміст розчиненого у воді кисню, мг/л	Вміст розчинених у воді органічних сполук, мг O <sub>2</sub> /л
1.	<i>Nuclearia delicatula</i> Cienkowski, 1865	5–21	9,34–24,18	12,80–30,02
2.	<i>Nuclearia flavocapsulata</i> Patterson, 1984	5–18	9,34–24,18	12,80–30,02
3.	<i>Arachnula impatiens</i> Cienkowski, 1876	5–21	9,34–24,18	12,80–26,52
4.	<i>Vampyrellidium perforans</i> Surek & Melkonian, 1980	12–20	12,84–20,83	10,84–25,92
5.	<i>Biomyxa vagans</i> Leidy, 1879	10–18	10,11–16,84	8,35–15,01
6.	<i>Penardia mutabilis</i> Cash, 1904	5–21	9,34–24,18	12,80–30,02
7.	<i>Leptophrys elegans</i> Hertwig & Lesser, 1874	5–22	6,74–28,01	8,35–34,26
8.	<i>Leptophrys vorax</i> Zopf, 1885	5–22	6,74–28,01	8,35–34,26
9.	<i>Vampyrella lateritia</i> Fresenius, 1856	5–21	9,34–24,18	12,80–30,02
10.	<i>Lateromyxa gallica</i> Hülsmann, 2007	12–18	18,42–20,11	10,54–26,17

До евриоксидних видів можна віднести такі голі філозні амеби: *N. delicatula*, *N. flavocapsulata*,

*A. impatiens*, *P. mutabilis*, *L. elegans*, *L. vorax*, *V. lateritia*. Ці протисти витримують широкий діапазон значень

концентрації розчиненого в воді кисню. Інші філозні амеби *V. perforans*, *B. vagans*, *L. gallica* витримують вузький діапазон значень концентрації розчиненого в воді кисню та їх можна віднести до стенооксидних (табл. 1).

*N. delicatula*, *N. flavocapsulata*, *P. mutabilis*, *L. elegans*, *L. vorax*, *V. lateritia* у водоймах досліджуваних регіонів витримують високі значення перманганатної окислюваності; *A. impatiens*, *V. perforans*, *B. vagans*, *L. gallica* належать до стенобіонтів (табл. 1).

Що ж стосується температури води, то діапазони толерантності до цього фактору можуть оцінюватись тільки за умови цілорічних спостережень.

Оскільки більшість протистів є космополітами, трапляються в бентосі та перифітоні морських і прісноводних екосистем (Foissner, 2007; 2008), присутні майже в усіх біотопах і є постійними компонентами ланцюгів живлення, ми спробували проаналізувати видовий склад голих філозних амеб у різнотипних водоймах України. Під час аналізу поширення голих філозних амеб у водоймах різних типів ми використовували прийняту в гідробіології класифікацію континентальних водних об'єктів (Романенко, 2001). Дані щодо поширення голих філозних амеб у різних типах водойм регіонів дослідження наведені у таблиці 2.

Таблиця 2.

Поширення голих філозних амеб у водоймах України

№ п/п	Види амеб	Типи водойм			
		річка	заплавна водойма	озеро	болото
1.	<i>Nuclearia delicatula</i> Cienkowski, 1865	+	+	+	–
2.	<i>Nuclearia flavocapsulata</i> Patterson, 1984	+	+	–	–
3.	<i>Arachnula impatiens</i> Cienkowski, 1876	+	–	+	–
4.	<i>Vampyrellidium perforans</i> Surek & Melkonian, 1980	–	+	–	–
5.	<i>Biomyxa vagans</i> Leidy, 1879	–	–	–	+
6.	<i>Penardia mutabilis</i> Cash, 1904	+	–	–	–
7.	<i>Leptophrys elegans</i> Hertwig & Lesser, 1874	+	+	+	+
8.	<i>Leptophrys vorax</i> Zopf, 1885	+	+	+	+
9.	<i>Vampyrella lateritia</i> Fresenius, 1856	+	+	+	–
10.	<i>Lateromyxa gallica</i> Hülsmann, 2007	+	+	–	–
Всього		8	7	5	3

Проведений аналіз залежності екологічних типів водойм (річка, заплавна водойма, озеро, болото) і видового багатства голих філозних амеб дозволило виділити особливості різноманіття амеб, які характерні для водойм різних типів. У водоймах України виявлено порівняно велике видове багатство амеб у річках (8 видів) і заплавних водоймах (7 видів) у порівнянні з болотами (3 види); в озерах ідентифіковано 5 видів філозних амеб (табл. 2). Виключно

прісноводним видом, який характерний для річок України є *P. mutabilis*. У болотах виявлено вид *B. vagans*, у заплавних водоймах – *V. perforans*. У всіх типах водойм траплялися види *L. elegans* та *L. vorax*, які можна вважати евритопними. Досліджувані водойми характеризуються високим ступенем антропогенного навантаження (знаходяться в полосі населених пунктів), тому *L. elegans* та *L. vorax*

можна використовувати в якості індикаторних організмів.

Аналізуючи склад голих філозних амеб у водоймах різних типів України, слід відмітити епізодичне трапляння всіх видів. У цілому частота трапляння голих філозних амеб у річках, заплавних водоймах, озерах, болотах складає від 1,5 до 25 %, тому їх можна вважати малочисельними і рідкісними в водоймах різних типів Житомирської, Львівської та Рівненської областей.

Проведений кластерний аналіз із використанням індексу фауністичної подібності Чекановського-С`єренсена показав, що найбільша частка спільних видів голих амеб спостерігалась між річками і заплавними водоймами (0,80), річками й озерами (0,77), заплавними водоймами й озерами (0,67) та озерами і болотами (0,50), найменш подібний видовий склад заплавних водойм і боліт (0,40) та річок і боліт (0,36).

На дендрограмі, побудованій за значеннями цього індексу видно, що комплекси голих філозних амеб об'єднуються в два кластери, в одному з них опинилися комплекси річок, заплавних водойм і озер, а в другому – боліт (рис. 3). За результатами Bootstrap-аналізу за 1000 перестановок вірогідність існування двох вищевказаних кластерів складає 83 % і 100 % відповідно. Ймовірно, видовий склад голих амеб в значній мірі визначається близькістю водойм до річки, де відмічається найбагатша фауна цих протистів. Видовий склад амеб відрізняється лише в болотах, де має місце специфічний комплекс умов. Болотні води на досліджуваній території в природному стані характеризуються в цілому як слабо кислі та з низьким вмістом органічних речовин, що підтверджується невисокою концентрацією перманганатної окислюваності, у порівнянні з річками, заплавними водоймами та озерами.

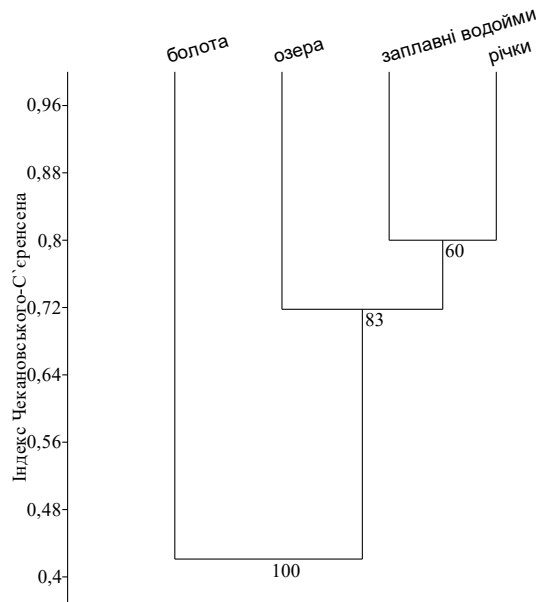


Рис. 3. Подібність видового складу голих амеб за індексом Чекановського-С`єренсена (у вузлах дендрограми вірогідність кластерів у % при 1000 перестановок)

На формування списків голих філозних амеб у досліджуваних регіонах впливають гідрофізичні і гідрохімічні умови середовища. Так, на

рис. 4 показано, що видовий комплекс голих філозних амеб річок, заплавних водойм і озер визначається найбільшим вмістом органічних

речовин та найбільшою температурою. У цьому комплексі опинилися види *N. delicatula*, *N. flavocapsulata*, *P. mutabilis*, *L. elegans*, *L. vorax*, *V. lateritia*, які за нашими дослідженнями витримують значний вміст розчинених у воді органічних речовин. Видовий склад голих амеб у болотах пов'язаний із низьким вмістом розчинених у воді органічних речовин та нижчою температурою. Специфіку болотного комплексу визначає вид *V. vagans*, який ідентифікований нами лише в цьому типі водойм. Що ж

стосується концентрації розчиненого в воді кисню, то в наших дослідженнях цей фактор слабо впливає на видові комплекси боліт, річок, заплавних водойм та озер. Слід зазначити, що це перші наші дослідження особливостей поширення голих філозних амеб у водоймах України, тому невелика кількість ідентифікованих нами видів і досліджених водойм можуть впливати на такий розподіл і таким чином мати випадковий характер, що буде детальніше узагальнено в наступних працях.

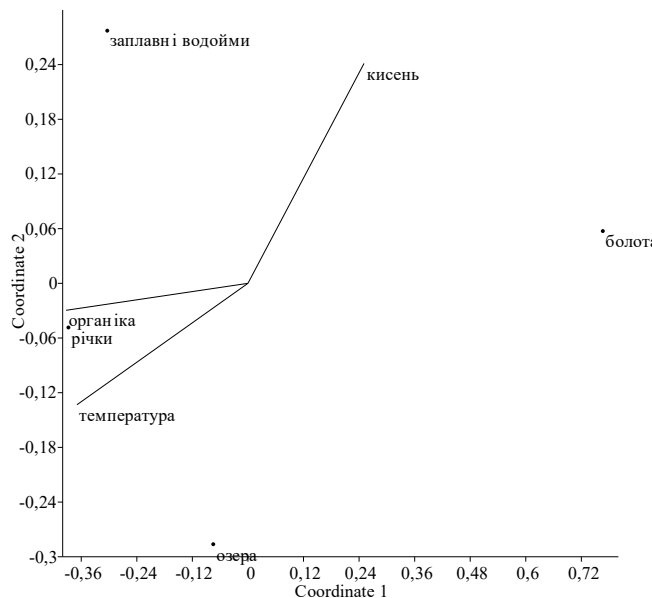


Рис. 4. Ординація видових комплексів голих філозних амеб водойм різних типів за факторами середовища (результати непараметричного багатовимірного шкалювання, MDS)

Таким чином, перераховані вище види філозних амеб із високою ймовірністю претендують на роль видів, характерних для водойм Житомирської, Львівської та Рівненської областей, що повинно бути детально перевірено в наступних фауністичних дослідженнях.

Сьогодні видова ідентифікація більшості протистів потребує залучення світлової мікроскопії та молекулярно-генетичних методів дослідження. Оскільки голих філозних амеб важко підтримувати в культурах, а ще важче виділити ДНК, нам вдалося визначити послідовність гену 18S рРНК лише для

одного виду *P. mutabilis*. Філогенетичний аналіз показує, що секвенс виду *P. mutabilis* (OQ134484.1, р. Тетерів) надійно групується з секвенсом філозної амеби *Penardia*, депонованої з генбанку за номером MN324469.1, яка відома з ґрунтів Німеччини. Ця група має високу бутстреп-підтримку (95 %). Секвенси представників філозних амеб з роду *Leptophrys* та *Vampyrellida* утворюють окрему групу з високою підтримкою, яка є сестринською по відношенню до представників роду *Penardia* (рис. 5).

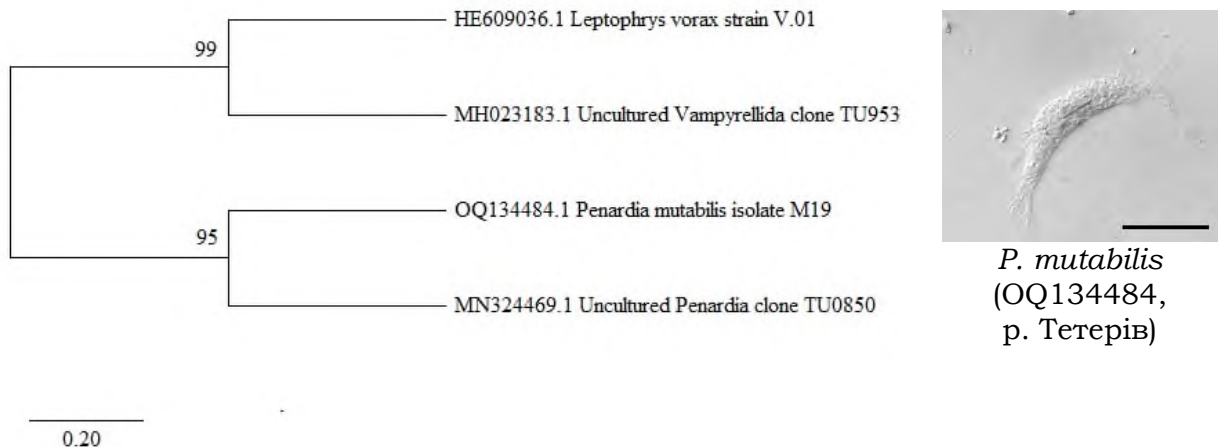


Рис. 5. Фрагмент філогенетичного дерева, яке побудоване на основі секвенсів гену 18S рРНК для представників філозних амеб *Penardia*, *Vampyrellida*, *Leptophrys*. Шкала масштабу показує еквівалентність відстані між послідовностями

### Висновки

Отже, у водоймах Житомирської, Львівської та Рівненської областей нами ідентифіковано 10 видів голих філозних амеб. Виділені наступні екологічні групи цих протистів: евриоксидні – *N. delicatula*, *N. flavocapsulata*, *A. impatiens*, *P. mutabilis*, *L. elegans*, *L. vorax*, *V. lateritia*; стенооксидні – *V. perforans*, *B. vagans*, *L. gallica*; стенобіонтні – *A. impatiens*, *V. perforans*, *B. vagans*, *L. gallica*; *N. delicatula*, *N. flavocapsulata*, *P. mutabilis*, *L. elegans*, *L. vorax*, *V. lateritia* – витримують широкий діапазон значень перманганатної окислюваності. *L. elegans* та *L. vorax* визначені як індикаторні організми високого рівня антропогенного навантаження на водойми.

Найбільше число видів у водоймах Житомирської, Львівської та Рівненської областей було відмічено в

річках (8 видів) та заплавних водоймах (7 видів), найменше – у болотах (3 види), в озерах зареєстровано 5 видів філозних амеб. За видовим складом голих філозних амеб виділено два видових комплекси: болотний та заплавний, що включає види, які переважно трапляються в річках та водоймах, розміщених у долинах річок. На видові комплекси річок, заплавних водойм, озер та боліт впливають гідрофізичні та гідрохімічні фактори середовища. Видовий склад голих філозних амеб річок, заплавних водойм та озер пов'язаний із вищою температурою і більшим вмістом розчинених у воді органічних речовин у порівнянні із видовим складом боліт.

Послідовність гену 18S рРНК *P. mutabilis* міститься в GenBank за номером OQ134484.

### Список використаних джерел

- Набиванець Б. Й., Осадчий В. І., Осадча Н. М., Набиванець Ю. Б. Аналітична хімія поверхневих вод. Київ: Наукова думка. 2007. С. 85–300.
- Романенко В. Д. Основи гідроекології. Київ: Обереги. 2001. 728 с.
- Adl S. M., Bass D., Lane C. E., Lukes J., Schoch C. L., Smirnov A., Agatha S., Berney C., Brown M. W., Burki F., Cardenas P., Cepicka I., Chistyakova L., Del Campo J., Dunthorn M., Edvardsen B., Eglit Y., Guillou L., Hampl V., Heiss A. A., James T. Y., Karnkowska A., Karpov S., Kim E., Kolisko M., Kudryavtsev A., Lahr D. J. G., Lara E., Le Gall L., Lynn D. H., Mann D. G., Massana R., Mithcell E. A. D., Morrow C., Park J. S., Pawlowski J. W., Powell M. J., Richter D. J., Rueckert S., Shadwick L., Shimano S.,

Spiegel F. W., Torruella G., Youssef N., Zlatogursky V., Zhang Q. Revisions to the Classification, Nomenclature, and Diversity of Eukaryotes. *J. Eukaryot. Microbiol.* 2019. V. 66(1). P. 4–119. DOI: 10.1111/jeu.12691

Booth R. Ecology of testate amoebae (Protozoa) in two Lake Superior coastal wetlands: implications paleoecology and environmental monitoring. *Wetlands.* 2001. V. 121(4). P. 564–576. DOI: [https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2001\)021\[0564:EOTAPI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2001)021[0564:EOTAPI]2.0.CO;2)

Cienkowski L. Beiträge zur Kenntniss der Monaden. *Archiv f. mikrosk. Anatomie.* 1865. P. 203–232. <https://doi.org/10.1007/BF02961414>

Foissner W. Soil protozoa: fundamental problems, ecological significance, adaptations in ciliates and testaceans, bioindicators, and guide to the literature. *Progr. Protistol.* 1987. V. 2. P. 69–212.

Foissner W. An updated compilation of world soil ciliates (Protozoa, Ciliophora), with ecological notes, new records, and descriptions of new species. *Europ. J. Protistol.* 1998. V. 34. P. 195–235. [https://doi.org/10.1016/S0932-4739\(98\)80028-X](https://doi.org/10.1016/S0932-4739(98)80028-X)

Foissner W. Biogeography and dispersal of micro-organisms: a review emphasizing protists. *Acta Protozool.* 2006. V. 45. P. 111–136.

Foissner W. Dispersal and biogeography of protists: recent advances. *Jap. J. Protozool.* 2007. V. 40. P. 1–16. DOI:10.18980/jjprotozool.40.1\_1

Foissner W. Protist diversity and distribution: some basic considerations. *Biodivers. Conserv.* 2008. V. 17. P. 235–242. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10531-007-9248-5>

Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Palaeontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol. electronica.* 2001. V. 4. P. 1–9. [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm)

Hulsmann N. *Lateromyxa gallica* N. G., N. Sp. (Vampyrellidae): A Filopodial Amoeboid Protist with a Novel Life Cycle Conspicuous Ultrastructural Characters. *Euk. Microbiol.* 1993. V. 40(2). P. 141–149.

Kepner W. A. Notes on the Genus *Leptophrys*. *The American Naturalist.* 1906. V. 40(473). P. 335–342.

Kucera M., Darling K. Cryptic species of planktonic foraminifera: their effect on palaeoceanographic reconstructions. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A.* 2002. V. 360. P. 695–718. <https://doi.org/10.1098/rsta.2001.0962>

Kumar S., Stecher G., Li M., Knyaz C., Tamura K. MEGA X: Molecular Evolutionary Genetics Analysis across Computing Platforms. *Molecular Biology Evolution.* 2018. V. 35(6). P. 1547–1549. DOI: 10.1093/molbev/msy096

Maniatis T., Fritsch E. F., Sambrook J. Molecular cloning, a laboratory manual. Cold Spring Harbor Laboratory, Cold Spring Harbor, New York. 1982. [https://doi.org/10.1016/0307-4412\(83\)90068-7](https://doi.org/10.1016/0307-4412(83)90068-7)

Medlin L., Elwood H. J., Stickel S., Sogin M. L. The characterization of enzymatically amplified eukaryotic 16S-like rRNA-coding regions. *Gene.* 1988. V. 71. P. 491–499. [https://doi.org/10.1016/0378-1119\(88\)90066-2](https://doi.org/10.1016/0378-1119(88)90066-2)

Meisterfeld R., Holzmann M., Pawlowski J. Morphological and molecular characterization of a new terrestrial allogromiid species: *Edaphoallogromia australica* gen. et spec. nov., (Foraminifera) from Northern Queensland (Australia). *Protist.* 2001. V. 152. P. 185–192. <https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2016.05.001>

Page F. C., Siemensa F. J. Nackte Rhizopoda und Heliozoa (Protozoenfauna Band 2). Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York. 1991. P. 3–170.

Patterson D. J., Simpson A. G. B., Rogerson A. Amoebae of uncertain affinities. In J. J. Lee, G. F. Leedale, P. Bradbury (Eds.). *An illustrated guide to the protozoa* (2nd ed.). Lawrence : Society of Protozoologists. 2002. P. 804–827

Raunkiaer C. Formations Undersogelse og Formations Statistik. Investigations and statistics of plant formations. 1934. P. 201–282.



**References (translated & transliterated)**

- Nabyvanets, B. Y., Osadchiy, V.I., Osadcha, N. M., Nabyvanets, Yu. B. (2007). Analytical chemistry of surface waters. K. : Scientific opinion, P. 85–300 [in Ukrainian].
- Romanenko, V. D. (2001). Fundamentals of hydroecology. Kyiv: Charms, 728 p. [in Ukrainian].
- Adl, S. M., Bass, D., Lane, C. E., Lukes, J., Schoch, C. L., Smirnov, A., Agatha, S., Berney, C., Brown, M. W., Burki, F., Cardenas, P., Cepicka, I., Chistyakova, L., Del Campo, J., Dunthorn, M., Edvardsen, B., Eglit, Y., Guillou, L., Hampl, V., Heiss, A. A., James, T. Y., Karnkowska, A., Karpov, S., Kim, E., Kolisko, M., Kudryavtsev, A., Lahr, D. J. G., Lara, E., Le Gall, L., Lynn, D. H., Mann, D. G., Massana, R., Mithcell, E. A. D., Morrow, C., Park, J. S., Pawlowski, J. W., Powell, M. J., Richter, D. J., Rueckert, S., Shadwick, L., Shimano, S., Spiegel, F. W., Torruella, G., Youssef, N., Zlatogursky, V., Zhang, Q. (2019). Revisions to the Classification, Nomenclature, and Diversity of Eukaryotes. *J. Eukaryot. Microbiol.*, 66(1), 4–119. DOI: 10.1111/jeu.12691 [in English].
- Booth, R. (2001). Ecology of testate amoebae (Protozoa) in two Lake Superior coastal wetlands: implications paleoecology and environmental monitoring. *Wetlands*, 121(4), P. 564–576. DOI: [https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2001\)021\[0564:EOTAPI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2001)021[0564:EOTAPI]2.0.CO;2) [in English].
- Cienkowski, L. (1865). Beiträge zur Kenntniss der Monaden. *Archiv f. mikrosk. Anatomie*, 203–232. <https://doi.org/10.1007/BF02961414> [in English].
- Foissner, W. (1987). Soil protozoa: fundamental problems, ecological significance, adaptations in ciliates and testaceans, bioindicators, and guide to the literature. *Progr. Protistol.*, 2, 69–212 [in English].
- Foissner, W. (1998). An updated compilation of world soil ciliates (Protozoa, Ciliophora), with ecological notes, new records, and descriptions of new species. *Europ. J. Protistol.*, 34, 195–235. [https://doi.org/10.1016/S0932-4739\(98\)80028-X](https://doi.org/10.1016/S0932-4739(98)80028-X) [in English].
- Foissner, W. (2006). Biogeography and dispersal of micro-organisms: a review emphasizing protists. *Acta Protozool.*, 45, 111–136 [in English].
- Foissner, W. (2007). Dispersal and biogeography of protists: recent advances. *Jap. J. Protozool.*, 40, 1–16. DOI:10.18980/jjprotozool.40.1\_1 [in English].
- Foissner, W. (2008). Protist diversity and distribution: some basic considerations. *Biodivers. Conserv.*, 17, 235–242. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10531-007-9248-5> [in English].
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T., Ryan, P. D. (2001). PAST: Palaeontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol. electronic*, 4, 1–9. [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm) [in English].
- Hulsmann, N. (1993). *Lateromyxa gallica* N. G., N. Sp. (Vampyrellidae): A Filopodial Amoeboid Protist with a Novel Life Cycle Conspicuous Ultrastructural Characters. *Euk. Microbiol.*, 40(2), 141–149 [in English].
- Kepner, W. A. (1906). Notes on the Genus *Leptophrys*. *The American Naturalist.*, 40(473), 335–342 [in English].
- Kucera, M., Darling, K. (2002). Cryptic species of planktonic foraminifera: their effect on palaeoceanographic reconstructions. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A.*, 360, 695–718. <https://doi.org/10.1098/rsta.2001.0962> [in English].
- Kumar, S., Stecher, G., Li, M., Knyaz, C., Tamura, K. (2018). MEGA X: Molecular Evolutionary Genetics Analysis across Computing Platforms. *Molecular Biology Evolution*, 35(6), 1547–1549. DOI: 10.1093/molbev/msy096 [in English].
- Maniatis, T., Fritsch, E. F., Sambrook, J. (1980). Molecular cloning, a laboratory manual. Cold Spring Harbor Laboratory, Cold Spring Harbor, New York. [https://doi.org/10.1016/0307-4412\(83\)90068-7](https://doi.org/10.1016/0307-4412(83)90068-7) [in English].
- Medlin, L., Elwood, H. J., Stickel, S., Sogin, M. L. (1988). The characterization of enzymatically amplified eukaryotic 16S-like rRNA-coding regions. *Gene*, 71, 491–499. [https://doi.org/10.1016/0378-1119\(88\)90066-2](https://doi.org/10.1016/0378-1119(88)90066-2) [in English].

Meisterfeld, R., Holzmann, M., Pawlowski, J. (2001). Morphological and molecular characterization of a new terrestrial allogromiid species: *Edaphoallogromia australica* gen. et spec. nov., (Foraminifera) from Northern Queensland (Australia). *Protist*, 152, 185–192. <https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2016.05.001> [in English].

Page, F. C., Siemensa, F. J. (1991). Nackte Rhizopoda und Heliozoa (Protozoenfauna Band 2). Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York, 3–170 [in English].

Patterson, D. J., Simpson, A. G. B., Rogerson, A. (2002). Amoebae of uncertain affinities. In J. J. Lee, G. F. Leedale, P. Bradbury (Eds.). *An illustrated guide to the protozoa* (2nd ed.). Lawrence : Society of Protozoologists, 804–827 [in English].

Raunkiaer, C. (1934). Formations Undersogelse og Formations Statistik. Investigations and statistics of plant formations, 201–282 [in English].

Отримано: 6 вересня 2022  
Прийнято: 2 листопада 2022



UDC 582.26/.27

DOI 10.35433/naturaljournal.2.2023.34-44

## PHYTOPLANKTON PRIMARY PRODUCTIVITY

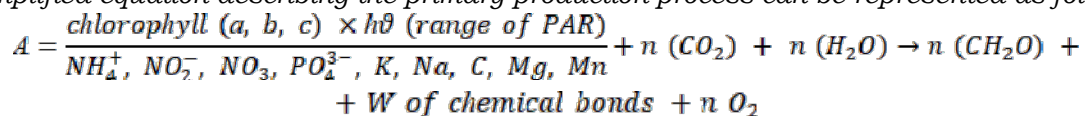
V. I. Shcherbak<sup>1</sup>, N. M. Korniychuk<sup>2</sup>

Primary productivity is an important integral parameter describing energy potential of aquatic organisms' vital activity. Primary productivity determines the quality of water environment, its self-purifying capacity – from the Global Ocean to various continental ecosystems (Odum 1953, Williams et al. 2002, Bott et al. 2006, Kuehl and Troelstrup 2013).

Primary productivity is a bioenergy process transforming the solar energy into the energy of chemical bonds in organic matter, newly synthesized by the autotrophic link. The autotrophic link is mainly formed by algae from different ecological groups (phytoplankton, phytobenthos, phytoperiphyton) and higher aquatic plants.

As any process of energy production and transition, primary production in aquatic ecosystems is regulated by the laws of thermodynamics: the first law – the Lomonosov-Lavoisier law, the second law – the entropy law (Odum 1953). It is necessary to state clearly, that green plants do not transform the total amount of the Sun's radiant energy, but only a part of it, within the spectral range between 480 and 720 nm (within the wavelength band of photosynthetically active radiation).

A simplified equation describing the primary production process can be represented as follows:



Proceeding from the above equation, primary productivity may be considered equivalent to (analogous to) the photosynthesis intensity.

There is a range of various methods for estimating PP: according to algal cell number, according to nutrient dynamic in water, according to diurnal dynamics of dissolved oxygen, according to chlorophyll a content, light-and-dark bottle method in oxygen or radiocarbon modification. With consideration taken of these methods' advantages and disadvantages, researchers will be able to obtain the most reliable and unbiased primary productivity data.

**Keywords:** Primary productivity, organic matter destruction, phytoplankton.

<sup>1</sup> Doctor Sciences in Biology, professor,  
(Institute of Hydrobiology of the National Academy of Sciences of Ukraine)  
Kyiv, 04210, Ukraine

e-mail: ek424nat@ukr.net

ORCID 0000-0002-1237-6465

<sup>2</sup> Candidate of biological Sciences, docent  
(Zhytomyr Ivan Franko State University)

e-mail: korniychuknm@meta.ua

ORCID 0000-0002-8137-114X

## ПЕРВИННА ПРОДУКЦІЯ ФІТОПЛАНКТОНУ

**В.І. Щербак, Н.М. Корнійчук**

*Первинна продуктивність є важливим інтегральним параметром, що характеризує енергетичний потенціал життєдіяльності гідробіонтів. Первинна продуктивність визначає якість водного середовища, його здатність до самоочищення – від Світового океану до різних континентальних екосистем (Odum 1953, Williams et al. 2002, Bott et al. 2006, Kuehl and Troelstrup 2013).*

*Первинна продуктивність — це біоенергетичний процес, що перетворює сонячну енергію в енергію хімічних зв'язків в органічній речовині, новосинтезованій автотрофною ланкою.*

*Автотрофну ланку утворюють переважно водорості різних екологічних груп (фітопланктон, фітобентос, фітоперифітон) і вищі водні рослини.*

*Як і будь-який процес продукування та переходу енергії, первинна продукція у водних екосистемах регулюється законами термодинаміки: перший закон – закон Ломоносова-Лавуазьє, другий закон – закон ентропії (Одум 1953). Необхідно чітко зазначити, що зелені рослини трансформують не всю енергію випромінювання Сонця, а лише її частину, в спектральному діапазоні від 480 до 720 нм (в діапазоні довжин хвиль фотосинтетично активного випромінювання).*

*Спрощене рівняння, що описує первинну продукцію, можна представити так:*

$$A = \frac{\text{хлорофіл (a, b, c)} \times h\nu \text{ (діапазон ФАР)}}{NH_4^+, NO_2^-, NO_3^-, PO_4^{3-}, K, Na, C, Mg, Mn} + n(CO_2) + n(H_2O) \rightarrow n(CH_2O) + W \text{ хімічних зв'язків} + n O_2$$

*Виходячи з наведеного вище рівняння, первинну продуктивність можна вважати еквівалентною (аналогічною) інтенсивності фотосинтезу.*

*Існує низка різних методів оцінки первинної продукції: за кількістю клітин водоростей, за динамікою біогенних елементів у воді, за добовою динамікою розчинного кисню, за вмістом хлорофілу a, склянковий метод у кисневій і радіовуглецевій модифікації. Враховуючи переваги і недоліки цих методів, дослідники можуть отримати надійні та об'єктивні дані щодо первинної продуктивності.*

**Ключові слова:** первинна продукція, деструкція органічних речовин, фітопланктон.

### Introduction

The UN Sustainable Development Goal No. 6 is to ensure clean water and sanitation for all. The main targets to achieve this goal include, among others, providing access to safe and affordable drinking water, improving water quality, wastewater treatment and safe reuse, implementing integrated water resources management, protecting and restoring water-related ecosystems.

It is well known, that quality of water and its safety for human life and health to a great extent depend on phytoplankton primary productivity, organic matter destruction and their ratio. For example, the production-destruction ratio (A/R) is actually a formalized index, which describes the aquatic ecosystem state, water quality, and may be considered as an indicator of an aquatic ecosystem self-purification or self-pollution. Phytoplankton primary production indices may serve as

biological indicators of nutrients or organic matter influx.

In the view of the above, assessing phytoplankton primary productivity is very important for developing scientific basis of protection, sustainable use and management of water resources and ensuring safety and high quality of water for all.

### Materials and methods

Primary production (PP) is a complex biological process of energy generation in the aquatic ecosystem. In equations and formulas PP is usually expressed by letter A (from: assimilation), and organic matter destruction (OMD) – by letter R (from: respiration).

PP may be formally divided into several constituents:

$A_g$  – gross primary production (GPP). This is a total amount of photosynthesized energy produced by the autotrophic link (algae, higher

aquatic plants, aquatic mosses, green bacteria) in the aquatic ecosystem.

$A_e$  – effective primary production (EPP). This is an amount of photosynthesized energy exclusive of the fraction, which was consumed by the autotrophic link to cover its own energy expenditure ( $A_e = A_g - R_a$ , where  $R_a$  – autotrophic link respiration intensity);

$A_n$  – net primary production (NPP). This is an amount of photosynthesized energy exclusive of the energy fraction, consumed for respiration of the autotrophic link ( $R_a$ ) and the energy consumed for vital activity (respiration) of aquatic organisms from higher trophic levels: zooplankton ( $R_{zp}$ ), bacterioplankton ( $R_b$ ), protists ( $R_{pr}$ ), bottom macroinvertebrates ( $R_{bm}$ ) and fish ( $R_f$ ). The autotrophic link's biomass, which is present in a particular aquatic ecosystem at a particular moment, can be considered NPP ( $A_n$ ).

The PP may be expressed in any units of energy per unit of volume or area in a unit of time:  $\text{mg O}_2 \times \text{dm}^{-3} \times \text{t}$ ;  $\text{g O}_2 \times \text{m}^{-3} \times \text{t}$ ;  $\text{g O}_2 \times \text{m}^{-2} \times \text{t}$ ;  $\text{mg C} \times \text{dm}^{-3} \times \text{t}$ ;  $\text{g C} \times \text{dm}^{-3} \times \text{t}$ ;  $\text{g C} \times \text{dm}^{-2} \times \text{t}$ ;  $\text{J} \times \text{dm}^{-3} \times \text{t}$ ;  $\text{kJ} \times \text{m}^{-3} \times \text{t}$ ;  $\text{kJ} \times \text{dm}^{-2} \times \text{t}$ . Time units: from 1 hour to 24 hours (day), month, vegetation season.

24-hour (daily) expositions are the most suitable, if it is necessary to take into account ecological and physiological specifics of primary production and organic matter destruction. Short-term experiments reflect the potential capabilities of autotrophic communities. However, short-term expositions are also justified for measuring PP in eutrophic, hypereutrophic water bodies, as well as during intensive Cyanophyta blooms (Shcherbak, 2001).

To give an integral picture of the aquatic ecosystems' productivity, the  $A_g/R \times \text{day}^{-1}$  index is often used. It is an important parameter, expressing the ratio between gross primary production ( $A_g$ ) and organic matter destruction ( $R$ ).

The  $A/R$  ratio can be the following:

$A/R \approx 1$ . PP and OMD are balanced, the ecosystem is dominated by natural processes, and significant human impact

is absent. In accordance with E. Odum (Odum 1953), this condition corresponds to the ecosystem's climax.

$A/R > 1$ . PP prevails in the ecosystem and exceeds energy consumption for OMD considerably. This ratio is typical for eutrophic water bodies with Cyanophyta blooms.

$A/R < 1$ . PP is less intensive than OMD. Such phenomenon is possible in two major cases: 1) autotrophic link has low productivity, which may be observed in early spring – late autumn, during seasonal succession of species, when there is a lack of nutrients. It is one of possible temporal stages in seasonal periodicity, depending upon natural processes; 2) the aquatic ecosystem has been exposed to significant human impact, inhibiting PP. Volley discharge of unpurified sewage can serve as an example.

Along with a daily ratio ( $A/R \times \text{day}^{-1}$ ), it is possible (and even justified) to use a larger time interval in order to evaluate an extended human impact upon the aquatic ecosystem, which may last for ten days, a month, a season, or a year. It will allow assessing the share of PP in the aquatic ecosystem's bioproductivity potential in a more unbiased way.

The  $A_n/B$  ( $P/B$ ) index is equally important. It expresses the ratio between NPP and biomass during a particular time interval.

Actually,  $A_n/B \times \text{day}^{-1}$  corresponds to specific primary production of the aquatic ecosystem. It is acknowledged that the average  $A_n/B \times \text{day}^{-1}$  ratio for phytoplankton is equal to 2. Such ratio is observed in water bodies with natural intrabasin processes prevailing, devoid of any significant human impact.

Chlorophyll a is the major pigment present in all green plants and determining the solar energy assimilation during the photosynthetic process. That is why several important production indices are based on chlorophyll a: assimilation number (AN):

$$AN = \frac{GPP (A_g)}{\text{chlorophyll a}} \times t \text{ (1 hour);}$$



daily assimilation number (DAN):

$$\text{DAN} = \frac{\text{GPP (A}_g\text{)}}{\text{chlorophyll a}} \times t \text{ (24 hours)}.$$

Assimilation numbers fluctuate within quite a wide range. For example, for marine phytoplankton the AN index varies between 0.1 and 57.5 mg C × mg Ch a<sup>-1</sup> × 1 hour.

The main factors making effect upon PP:

Biological: a) size characteristics of autotrophic organisms; b) the S/V index, which is a ratio between the cell surface area (S) and its volume (V); c) the amount of active chlorophyll a and additional pigments.

Abiotic: a) amount of PAR-range energy; b) albedo value (the ratio between the solar radiation falling upon the water surface and the portion of such radiation reflected by the water surface); c) water temperature (t°C); d) salinity (S‰); e) water transparency (Secchi depth, m); f) water turbidity (mg × dm<sup>-3</sup>); g) absolute concentration of inorganic nitrogen and phosphorus (mg × dm<sup>-3</sup>) (Jørgensen, 1980); h) N : P ratio (an optimal N : P ratio for phytoplankton PP is equal to 16–20 : 1; i) availability of other chemical elements indispensable for photosynthesis.

A well-known English chemist Joseph Priestley laid the foundation of methods for measuring PP. As far back as in 1770s he discovered, that oxygen bubbles appeared on stems of *Vallisneria spiralis* L., when flasks with plants were exposed to sunlight and, on the contrary, the “bubble effect” was absent, when the plant was in darkness.

Proceeding from the equation of photosynthesis, the choice of methods is rather wide and depends upon the particular variable to be measured and the goals pursued by the researcher. A short list of methods for measuring PP applied in hydroecology is the following:

- According to algal cells number. The method consists in calculating the number of algal cells, forming in isolated cylinders within a definite time interval. Since phytoplankton's growth gain can

be easily transformed into its biomass, this method shows the NPP value (A<sub>n</sub>);

- According to nutrients dynamics in water, i. e. the difference in nutrient content (inorganic nitrogen, phosphorus) in the test and control flasks. The major disadvantages of this method include quick regeneration of nutrients during decomposition (lysis) of algal cells and their adsorption on the cell wall surface. This is especially true for phosphates.

- According to diurnal dynamics of dissolved oxygen. This method is based upon the difference in the amount of oxygen emitted in the photosynthetic process during the day. The PP intensity will be equal to the difference between the dissolved oxygen's maximal and minimal concentrations. The results obtained correspond to GPP. However, the method has the following disadvantages. Firstly, this method can be used during the periods of maximal photosynthetic activity (spring, summer), but it is rather difficult to take into account the temperature effect; secondly, it is methodically difficult to distinguish between the amount of oxygen, emitted into water due to photosynthesis, and the amount of oxygen, dissolving in water due to normal diffusion.

- According to chlorophyll a content. The biological essence of this method is the following: the PP intensity is proportional to chlorophyll a amount. There are methodical approaches to measuring chlorophyll a concentration: measuring chlorophyll a via pigment extraction; extraction-free spectrophotometric method.

The chlorophyll method (especially its extraction-free variant) is widely used in up-to-date hydroecological studies, and its findings are close to net primary production (A<sub>n</sub>);

Light-and-dark bottle method in oxygen or radiocarbon modification. The light-and-dark-bottle method in oxygen modification has been the most widely used method starting from G. G. Vinberg's research conducted as far back as in the 30s of the 20<sup>th</sup> century

(Vinberg, 1960). After the radiocarbon modification of the light-and-dark bottle method was proposed (Steemann-Nielsen, 1952), this method became even more widespread, especially for measuring PP in seas, oceans and oligotrophic water bodies. Since the light-and-dark bottle method in both modifications is well-known and is often explained in detail in scientific literature, it makes no sense to describe it here.

The main advantages of the light-and-dark bottle method include its simplicity, availability, and possibility to apply it in field conditions. Moreover:

- in oxygen modification – along with GPP, one can estimate OMD;

- in radiocarbon modification – high sensitivity, making it possible to conduct observations in low-productive oligotrophic aquatic ecosystems. It has been shown (Shcherbak and Klenus 1982) that radiocarbon modification gives results which are close to NPP;

- Fluorescence method. Today this method is widely used internationally. No statistically significant difference has been found between the data obtained by the fluorescence method and those obtained by the light-and-dark bottle method (Mineyeva, 2009).

Thus, today there is a range of various methods for estimating PP, and each of them has both advantages and

disadvantages. With consideration taken of their advantages and disadvantages, researchers will be able to obtain the most reliable and unbiased primary productivity data.

### Results and discussions

PP is an integral energy flow formed by the autotrophic link in an aquatic ecosystem. The particular components of autotrophic link make different contributions to the total productivity (Reynolds, 1984). In the Global Ocean, especially in its deep-water part (from 400 m and deeper), phytoplankton is the main component of the autotrophic link, which forms the largest share of PP. In the shelf area the significance of phytobenthos, epiphytic algae, and higher aquatic plants increases, however phytoplankton still plays a dominant part.

As regards continental water bodies, the following example of the Kyiv Water Reservoir (the Dnieper River, Ukraine) illustrates the contribution of different plant communities to the total primary production (Shcherbak, 1999).

The major share of energy flow is formed by phytoplankton, which is also distinguished by the highest specific production (table 1). Less important parts are played by phytobenthos, filamentous algae and higher aquatic plants.

Table 1

Structure of autotrophic link's primary production in the Kyiv Water Reservoir,  $\text{kJ} \times \text{m}^{-2}$  (Shcherbak, 1999)

Autotrophic link elements	$A_g$	$A_n$	Share of each component in the total production, %	$A_n/B$	$R$	$A_g/R$
Phytoplankton	8985	6992	51	42	1993	4,5
Phytobenthos	4271	3203	24	35	1068	4,0
Filamentous algae	3471	2604	19	16	867	4,0
Higher aquatic plants	1005	804	6	1	201	5,0

Note. The total primary production of the Kyiv water reservoir is taken for 100%;  $A_g$  – gross primary production,  $A_n$  – net primary production,  $R$  – organic matter destruction,  $B$  – biomass.

The recent studies of production parameters pertaining to particular components of the autotrophic link in

the Kyiv Water Reservoir have shown the role of another component – epiphytic algae (Semenyuk and Shcherbak, 2017).

Therefore, while in the Global Ocean phytoplankton plays a leading role in PP, in the continental water bodies the contribution of other autotrophic organisms is also very important.

Spatial and Temporal Dynamics of Primary Production. Vertical distribution. Analysis of the long-term data series

obtained from the Dnieper water reservoirs has shown that PP can be distributed in the water column according to three main types. The type of the PP vertical distribution usually depends upon the water body's trophic state and phytoplankton dominant complex structure (fig. 1).

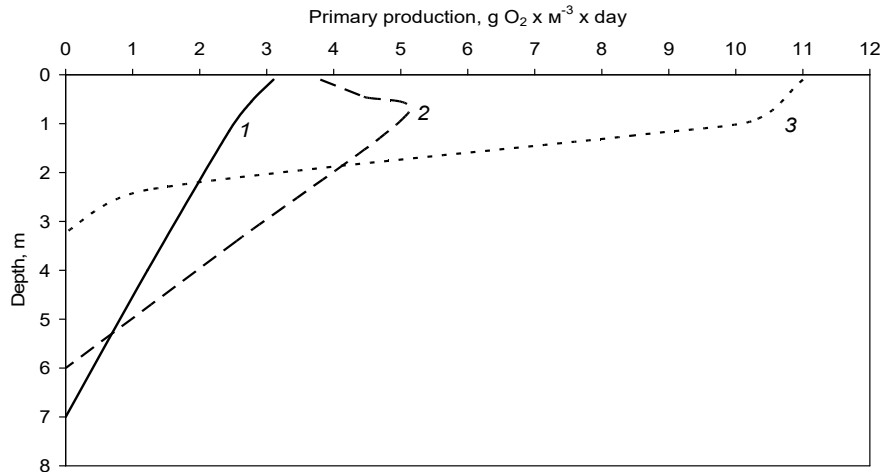


Fig. 1. Vertical distribution of primary production intensity depending upon the water body's trophic state and dominant complex structure (unpublished field data of V.I. Shcherbak).

Mesotrophic type. Phytoplankton structure is polydominant and represented by Bacillariophyta, Chlorophyta, Cryptophyta, Chrysophyta. The PP values are the highest in surface layers, gradually decreasing with depth. The photic layer is within the threefold Secchi depth.

Mildly-eutrophic type. Phytoplankton is dominated by Bacillariophyta. Most diatoms are shade-requiring species (Shcherbak and Kuz'menko, 1987); therefore the photosynthetic curve reaches its peak at a 0.5–1.2 m depth. The photic layer capacity is approximately equal to the doubled Secchi depth.

Hypereutrophic type. Cyanophyta are monodominant and intensive water bloom is observed. The photosynthetic curve peak occurs in surface layers, the photic layer capacity does not exceed the Secchi depth.

Presence of suspended particulate matter in the water column is an important abiotic factor, making effect upon the PP intensity and the photic layer capacity. It has been shown (Shcherbak et al., 1987), that the minimal PP and, respectively, minimal photic layer capacity in the Danube river were recorded in spring – during high water, when suspended mineral particulate matter amount in water was the highest. And, on the contrary, when the amount of suspended particulate matter in water was the lowest (in autumn), PP and the photic layer capacity were the highest.

Diurnal dynamics. Experiments on PP measuring within 4-hour intervals (at one and the same sampling site) in summer (when daylight hours are the longest) have shown, that the diurnal dynamics of PP is expressed by a unimodal curve with a peak within an interval from 9 a. m. to 1 p. m. (table 2).



Table 2

Diurnal dynamics of phytoplankton primary production (A, mg C × cell<sup>-1</sup> × 4 hours) in shallow areas of the Kremenchug Water Reservoir (the Dnieper River, Ukraine) (Shcherbak, 1982)

Exposition period, time o'clock	A, mg C × cell <sup>-1</sup> × 4 hours		Percentage shares	
	min-max	$\bar{\Sigma}$	min-max	$\bar{\Sigma}$
9 p. m. – 5 a. m.	6.24–31.80	14.36	1–9	5
5 a. m. – 9 a. m.	18.35–124.19	65.31	7–30	21
9 a. m. – 1 p. m.	51.24–242.94	116.52	31–58	40
1 p. m. – 5 p. m.	30.80–109.26	55.93	11–32	19
5 p. m. – 9 p. p.	7.43–104.16	43.52	9–26	15

Thus, the above examples evidently demonstrate that the PP process has a well-marked spatial and temporal dynamics.

• Primary Production of Particular (Dominant) Species

The above data on PP of oceanic and continental ecosystems describe the main patterns of the autotrophic link. However, the cause-and-effect mechanisms sustaining autotrophic communities' production are determined by dominant species' contribution. Production parameters at the population and species levels can be measured by autoradiography method, suggested almost simultaneously and independently by Maquire and Nell (1971) and Watt (1971).

The principle of the autoradiography method consists in measuring the algal

cells radioactivity, which is proportional to the number of <sup>14</sup>C atoms, assimilated in the photosynthetic process from the introduced "tracer" (NaH<sup>14</sup>C<sub>3</sub>; Na<sub>2</sub><sup>14</sup>CO<sub>3</sub>).

The higher is the algal cell's photosynthetic activity, the larger amount of <sup>14</sup>C will be uptaken. The radioactivity (primary production) of a separate cell is measured by a number of traces ("tracks") made by β-particles of <sup>14</sup>C, which reduce silver grains of the emulsion covering permanent slides with radioactive algae.

The autoradiography method has made it possible to prove (Shcherbak 1998a, 1998b), that the absolute PP value (A, pg C × cell<sup>-1</sup> × day) increases with cell volume. At the same time, the specific PP (A/B × day<sup>-1</sup>) follows an opposite relation: the less is the cell volume, the higher is the specific production (table 3).

Table 3

Cell volume (V, mcm<sup>3</sup>), production rate (A, pg C × cell<sup>-1</sup> × day) and specific production (A/B × day<sup>-1</sup>) of algae relating to major divisions of phytoplankton in continental water bodies of Ukraine (Shcherbak, 1998b)

Divisions of algae	Number of species	V		A		P/B	
		min-max	$\bar{\Sigma} V$	min-max	$\bar{\Sigma} A$	min-max	$\bar{\Sigma} P/B$
Cyanophyta	86	2–268	72.3±19.3	1.4–163.3	18.7±3.9	0.3–19.7	3.0±0.64
Bacillariophyta	97	47–3846	963.3±6.4	7.8–698.5	119.3±21.3	0.3–10.1	1.8±0.32
Chlorophyta	132	77–400	438.9±50.1	21.4–580.3	133.4±10.1	0.6–9.4	3.8±0.41

Note. The table contains the upper and lower limits of (min-max), average ( $\bar{\Sigma}$ ) cell volumes and their production parameters.

The dominant algal species dynamics is an essential mechanism sustaining phytoplankton seasonal periodicity.

A case-study of the Kyiv Water Reservoir shows that there is a temporal delimitation of dominant algae's production within a vegetation season. For example, the maximal primary production of green algae (fig. 2) is recorded in spring and early autumn. Respectively, at that time the role of these algae in phytoplankton production is the most significant (Shcherbak, 1999).

Diatoms differ by more complex seasonal dynamics of primary production (fig. 3). The photosynthesis maximum of a spring-autumn species *Cyclotella meneghiniana* Kütz. is recorded when the water temperature varies between 12 and 15°C, at the same period this species prevails in the phytoplankton. The summer increase in the water temperature

up to 23–25°C is the main factor causing a rise in the photosynthetic activity of *Melosira italica* (Ehr.) Kütz. and *M. granulata* (Ehr.) Ralfs.

Blue-green algae (fig. 4) have the maximal production in summer (when the water temperature is the highest), synthesizing the major part of the phytoplankton biomass to the water blooms level.

So, following an environmental factor change one population of microscopic algae is replaced with another. Thus, primary production of different populations is characterized by discrete temporal patterns, while the phytoplankton's total production retains its continuity. This is an essential specific trait of autotrophic link functioning, which makes it possible for ecosystems to reach high trophic level and sustain resistance to external impacts.

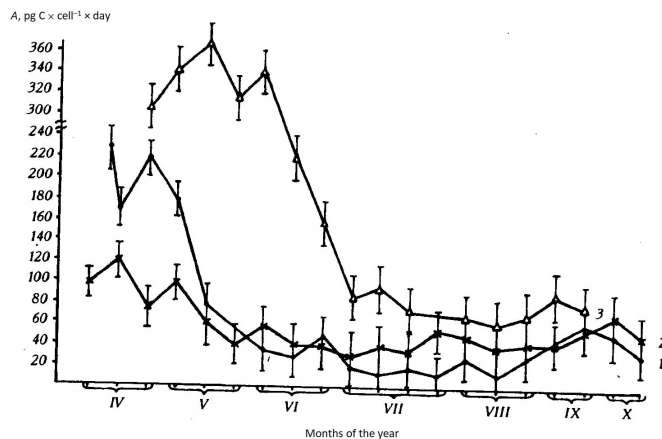


Fig. 2. Seasonal dynamics of the dominant green algae production: 1 – *Monoraphidium contortum*, 2 – *Desmodesmus communis*, 3 – *Chlamydomonas reinhardtii* (Shcherbak, 1999).

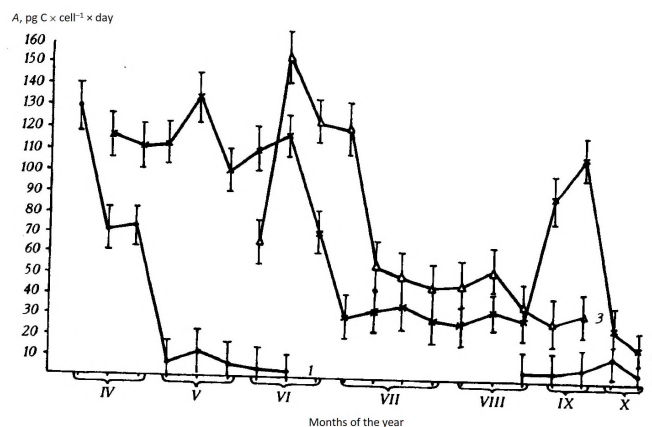


Fig. 3. Seasonal dynamics of the dominant diatoms production: 1 – *Cyclotella meneghiniana*, 2 – *Aulacoseira italica*, 3 – *Aulacoseira granulata* (Shcherbak, 1999).

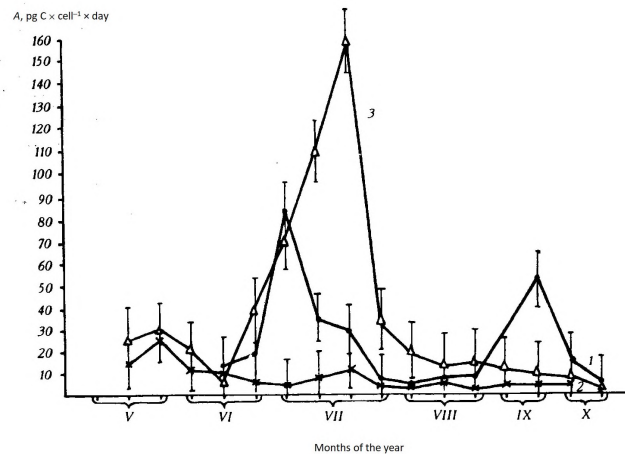


Fig. 4. Seasonal dynamics of the dominant blue-green algae production: 1 – *Aphanizomenon flos-aquae*, 2 – *Microcystis pulverea*, 3 – *Microcystis aeruginosa* (Shcherbak, 1999).

### Conclusions

Thus, primary production is one of the most important bioenergy processes, determining biodiversity, trophic state, self-purification, water quality – from the Global Ocean and seas to various lotic and lentic continental aquatic ecosystem of the Earth.

There is a range of various methods for estimating PP, and with consideration

taken of their advantages and disadvantages, researchers will be able to obtain the most reliable and unbiased primary productivity data. Assessing phytoplankton primary productivity is very important for developing scientific basis of achieving the UN Sustainable Development Goal No. 6 – ensuring safety and high quality of water for all.

### Список використаних джерел

- Bott T.L., Montgomery D.S., Arscotte D.B., Dow C.L. Primary productivity in receiving reservoirs: links to influent streams. *J N Am Benthol Soc.* 2006. 25(4):1045–1061. [https://doi.org/10.1899/0887-3593\(2006\)025\[1045:PPIRRL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1899/0887-3593(2006)025[1045:PPIRRL]2.0.CO;2)
- Jørgensen S.E. Lake management. Pergamon Press, London. 1980. 167 p.
- Kuehl L.C., Troelstrup N.H.Jr. Relationships between net primary production, water transparency, chlorophyll a and total phosphorus in Oak Lake, Brookings County, South Dakota. *Proceedings of the South Dakota Academy of Science.* 2013. 92:67–78.
- Maquire B.M., Nell W.E. Species and individual productivity in phytoplankton communities. *Ecology.* 1971. 54(6): 903–907
- Mineeva, N. M. (2019). Content of photosynthetic pigments in the Upper Volga reservoirs (2005–2016). *Inland Water Biology*, 12(2), 161–169.
- Odum E. Fundamentals of ecology. W. B. Saunders Company, Philadelphia, 1953. 383 p.
- Reynolds C.S. The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press, Cambridge, London, New York et al, 1984. 551 p.
- Semenyuk N.Ye., Shcherbak V.I. Structural and functional organization of phytoepiphyton of the Dnieper Reservoirs and factors influencing its development. Report 2. Role of hydrological and hydrochemical factors. *Hydrobiological Journal.* 2017. 53(2):3–15. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v53.i2.10>
- Shcherbak V.I. Studying diurnal dynamics of phytoplankton primary production. Hydrobiological Studies of South-Western Part of USSR. Naukova Dumka Publishing House, Kyiv, 1982. P. 131–134.

- Shcherbak V.I. Photosynthetic Activity of Dominant Species of the Dnieper River Phytoplankton. *Hydrobiological Journal*. 1998a. 36(2):71–84. <https://doi.org/10.1615/hydrobj.v36.i2.60>
- Щербак В.И. Продукционные характеристики доминирующих видов фитопланктона днепровских водохранилищ. *Альгология*. 1998b. 8(3):286–294
- Shcherbak V.I. Primary production of algae in the Dnieper and Dnieper Reservoirs. *Hydrobiological Journal*. 1999. 35(1):1–13. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v35.i1.10>
- Shcherbak V.I. The Influence of the Duration of Exposition on the Indices of Phytoplankton Primary Production in Eutrophic Water Bodies Using the Bottle Method in the Oxygen Modification. *Hydrobiological Journal*. 2001. 37(4): 43–49. <https://doi.org/10.1615/hydrobj.v37.i4.60>
- Shcherbak V.I., Klenus V.G. Comparative analysis of primary production of phytoplankton as determined by the bottle method in its oxygen and radiocarbon modifications. *Hydrobiological Journal*. 1982. 18(1): 11–15
- Shcherbak V.I., Kuz'menko M.I. Intensity of photosynthesis by phytoplankton at various depths in the photic zone. *Hydrobiological Journal*. 1987. 23(2):20–23
- Shcherbak V.I., Pyl L.L., Klenus V.G. Primary production of phytoplankton in the Chilia branch of the Danube. *Hydrobiological Journal*. 1987. 23(4): 8–11
- Steemann-Nielsen E. The use of radioactive C-14 for measurement of organic production in the sea. *J Cons Intern Explor Mer*. 1952. 18(2):117–140
- Watt W.D. Measuring the primary production rates in individual phytoplankton species in natural mixed population. *Deep Sea Res*. 1971. 18:329–389. [https://doi.org/10.1016/0011-7471\(71\)90038-6](https://doi.org/10.1016/0011-7471(71)90038-6)
- Williams P.J. le B., Thomas D.N., Reynolds C.S. (eds) Phytoplankton productivity: Carbon assimilation in marine and freshwater ecosystems. Blackwell Science, Oxford, Malden, Ames et al. 2002. 386 p.

#### References (translated & transliterated)

- Bott, T.L., Montgomery, D.S., Arscotte, D.B., Dow, C.L. (2006) Primary productivity in receiving reservoirs: links to influent streams. *J N Am Benthol Soc* 25(4):1045–1061. [https://doi.org/10.1899/0887-3593\(2006\)025\[1045:PPIRRL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1899/0887-3593(2006)025[1045:PPIRRL]2.0.CO;2)
- Jørgensen, S.E. (1980) Lake management. Pergamon Press, London. 167 p.
- Kuehl, L.C., Troelstrup, N.H.Jr. (2013) Relationships between net primary production, water transparency, chlorophyll a and total phosphorus in Oak Lake, Brookings County, South Dakota. *Proceedings of the South Dakota Academy of Science* 92:67–78
- Maquire, B.M., Nell, W.E. (1971) Species and individual productivity in phytoplankton communities. *Ecology* 54(6): 903–907
- Mineeva, N. M. (2019). Content of photosynthetic pigments in the Upper Volga reservoirs (2005–2016). *Inland Water Biology*, 12(2), 161–169.
- Odum, E. (1953) Fundamentals of ecology. W. B. Saunders Company, Philadelphia. 383 p.
- Reynolds, C.S. (1984) The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press, Cambridge, London, New York et al. 551 p.
- Semenyuk, N.Ye., Shcherbak, V.I. (2017) Structural and functional organization of phytoepiphyton of the Dnieper Reservoirs and factors influencing its development. Report 2. Role of hydrological and hydrochemical factors. *Hydrobiological Journal*. 53(2):3–15. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v53.i2.10>
- Shcherbak, V.I. (1982) Studying diurnal dynamics of phytoplankton primary production. *Hydrobiological Studies of South-Western Part of USSR*. Naukova Dumka Publishing House, Kyiv. P. 131–134.

- Shcherbak, V.I. (1998a) Photosynthetic Activity of Dominant Species of the Dnieper River Phytoplankton. *Hydrobiological Journal* 36(2):71–84. <https://doi.org/10.1615/hydrobj.v36.i2.60>
- Shcherbak, V.I. (1998b) Produktsionnue harakteristiki dominiryyshchih vidov fitoplanktona dneprovskih vodohranilishch [Production characteristics of dominant species of phytoplankton of the Dnieper Reservoirs]. *Algologia* 8(3):286–294 [in Russian]
- Shcherbak, V.I. (1999) Primary production of algae in the Dnieper and Dnieper Reservoirs. *Hydrobiological Journal* 35(1):1–13. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v35.i1.10>
- Shcherbak, V.I. (2001) The Influence of the Duration of Exposition on the Indices of Phytoplankton Primary Production in Eutrophic Water Bodies Using the Bottle Method in the Oxygen Modification. *Hydrobiological Journal* 37(4): 43–49. <https://doi.org/10.1615/hydrobj.v37.i4.60>
- Shcherbak, V.I., Klenus, V.G. (1982) Comparative analysis of primary production of phytoplankton as determined by the bottle method in its oxygen and radiocarbon modifications. *Hydrobiological Journal* 18(1): 11–15
- Shcherbak, V.I., Kuz'menko, M.I. (1987) Intensity of photosynthesis by phytoplankton at various depths in the photic zone. *Hydrobiological Journal* 23(2):20–23
- Shcherbak, V.I., Pyl, L.L., Klenus, V.G. (1987) Primary production of phytoplankton in the Chilia branch of the Danube. *Hydrobiological Journal* 23(4): 8–11
- Steemann-Nielsen, E. (1952) The use of radioactive C-14 for measurement of organic production in the sea. *J Cons Intern Explor Mer* 18(2):117–140
- Watt, W.D. (1971) Measuring the primary production rates in individual phytoplankton species in natural mixed population. *Deep Sea Res* 18:329–389. [https://doi.org/10.1016/0011-7471\(71\)90038-6](https://doi.org/10.1016/0011-7471(71)90038-6)
- Williams, P.J. le B., Thomas, D.N., Reynolds, C.S. (eds) (2002) Phytoplankton productivity: Carbon assimilation in marine and freshwater ecosystems. Blackwell Science, Oxford, Malden, Ames et al. 386 p.

Отримано: 19 жовтня 2022  
Прийнято: 7 листопада 2022



Ukrainian Journal of Natural Sciences  
Issue 2  
Український журнал природничих наук  
Випуск 2

ISSN: 2786-6335 print  
ISSN: 2786-6343 online

## ЕКОЛОГІЯ

UDC 556.1:502

DOI 10.35433/naturaljournal.2.2023.45-56

### ECOLOGICAL WATER QUALITY

**N. Ye. Semeniuk<sup>1</sup>**

*Water quality – is a description of water’s chemical and biological composition and physical properties, which characterize it as an abiotic component of aquatic ecosystem and determine its suitability for specific consumption purposes.*

*Ecological water quality (environmental water quality) – refers to the ecological well-being of an aquatic ecosystem, with the main focus on protection of the aquatic environment and human life and health. It comprises a complex of physical, chemical, biological and other parameters reflecting specific features of abiotic and biotic components of aquatic ecosystems.*

*The requirements for physical, chemical and biological properties of water are set in the water quality standards, which may be developed by particular countries or introduced by international organizations.*

*Ecological water quality depends upon natural and human factors. Natural factors are in their turn divided into abiotic (for example, geological, meteorological, hydrological) and biotic (for example, the ratio of primary production and organic matter destruction). The main human factors affecting water quality include artificial modification of aquatic ecosystems’ hydrological conditions and their pollution with diverse chemical compounds.*

*There are a lot of approaches to ecological water quality assessment according to both abiotic (physical and chemical) and biological parameters. Physical and chemical methods take into account such parameters as water transparency, suspended particulate matter concentration (turbidity), ion composition, water hardness, total dissolved salts content, nutrients and organic matter content, dissolved gases concentration, pH. Biological methods are based upon assessing the living organisms’ (biological indicators’) response to mineral and organic substances, present in water. Various living organisms can be used as biological indicators: algae, in particular – diatoms, higher aquatic plants, different species of aquatic invertebrates and fishes. While physical and chemical methods characterize water quality at the moment of sampling, biological methods provide an integral picture of water quality for a certain time period. Besides, biological methods are more informative, because they reflect the aquatic ecosystem’s response to pollution.*

*On the whole, the most reliable data on ecological water quality can be obtained by combining physical, chemical and biological methods.*

**Keywords:** water, ecological quality, properties.

<sup>1</sup> Senior researcher

Doctor of Biological Sciences (Hydrobiology)

(Institute of Hydrobiology of the National Academy of Sciences of Ukraine)

Kyiv, 04210, Ukraine

e-mail: natasemenyuk@gmail.com

ORCID 0000-0003-4447-3507

## ЕКОЛОГІЧНА ЯКІСТЬ ВОДИ

Н.Є. Семенюк

*Якість води – опис хімічного та біологічного складу та фізичних властивостей води, які характеризують її як абіотичний компонент водної екосистеми та визначають її придатність для конкретних цілей споживання.*

*Екологічна якість води (екологічна якість води) – відноситься до екологічного благополуччя водної екосистеми з головною увагою до захисту водного середовища та життя та здоров'я людини. Вона включає комплекс фізичних, хімічних, біологічних та інших параметрів, що відображають особливості абіотичних і біотичних компонентів водних екосистем.*

*Вимоги до фізичних, хімічних і біологічних властивостей води викладені в стандартах якості води. Такі стандарти можуть розроблятися у різних країнах чи запроваджуватись міжнародними організаціями.*

*Екологічна якість води залежить від природних і антропогенних чинників. Природні чинники в свою чергу діляться на абіотичні (наприклад, геологічні, метеорологічні, гідрологічні) і біотичні (наприклад, співвідношення продукційно-деструкційних процесів). Основні антропогенні чинники, які впливають на якість води, включають штучну зміну гідрологічного режиму водних екосистем та їх забруднення різними хімічними речовинами.*

*Існує багато підходів до оцінки екологічної якості води як за абіотичними (фізичними і хімічними), так і за біотичними показниками. Фізичні і хімічні методи враховують такі показники як прозорість води, вміст завислих часток (каламутність), іонний склад, жорсткість води, мінералізація води, вміст біогенних елементів і органічних речовин, концентрація розчинних газів, рН. Біологічні методи базуються на оцінці відгуку живих організмів (біологічних індикаторів) на мінеральні й органічні речовини, присутні у воді.*

*Як біологічні індикатори можуть бути використані різноманітні живі організми: водорості, зокрема, діатомові вищі водяні рослини, різні види водних безхребетних і риб. У той час як фізичні і хімічні методи характеризують якість води в момент відбору проб, біологічні методи дозволяють побачити інтегральну картину якості води за певний період часу. Окрім того, біологічні методи є більш інформативними, оскільки вони відображають реакцію водної екосистеми на забруднення.*

*У цілому, найдостовірніші дані щодо екологічної якості води можна отримати шляхом поєднання фізичних, хімічних і біологічних методів.*

**Ключові слова:** вода, екологічна якість, властивості.

### Introduction

To achieve the UN Sustainable Development Goal No. 6 (to ensure clean water and sanitation for all) it is necessary to protect aquatic ecosystems from pollution and to maintain their natural undisturbed state. In this respect, water quality assessment is of great importance.

The water quality standards set requirements to its physical, chemical and biological properties. In Europe such standards can be developed in the EU Member States, they can be introduced by the European Council or European Parliament or issued by international organizations, such as the World Health Organization. For example, the World Health Organization published "Guidance for Drinking Water Quality" (2011).

In the European Union the water quality standards are primarily set forth

in three Directives: *Directive on Urban Waste Water Treatment* (91/271/EEC) as of May 21<sup>st</sup>, 1991; *Drinking Water Directive* (98/83/EC) as of November 3<sup>rd</sup>, 1998; *Water Framework Directive* (2000/60/EC) as of October 23<sup>rd</sup> 2000, concerning water resources management.

Organizations setting the water quality standards must take into consideration water use purposes, because physical, chemical and biological requirements to water for drinking, industry, and agriculture differ significantly. The main goal pursued by the water quality standards is to protect the end user, which may be a human population, a community of aquatic organisms, industry or agriculture etc. The main attention, though, must be paid to protection of human life and health and aquatic environment (Parameters of water quality, 2001). For



example, drinking water quality is estimated proceeding from presence of such pollutants as inorganic compounds (salts, ions of metals), toxic organic substances (petroleum products, pesticides, herbicides), microorganisms (viruses, bacteria, protozoa), as well as radionuclides.

The water quality assessment from the environmental protection viewpoint comprises a complex of physical, chemical, biological and other parameters reflecting specific features of abiotic and biotic components of aquatic ecosystems. The list of these parameters includes dissolved oxygen content, pH, water transparency, composition of salts, concentration of nutrients, specific toxic and radioactive substances and other parameters (Romanenko, 2001).

*Factors Affecting Ecological Water Quality.* The surface and ground waters composition depends upon natural and human factors.

Natural factors are in their turn divided into abiotic and biotic. Abiotic factors encompass geological, meteorological, hydrological conditions in the catchment area and may vary due to seasonal fluctuations of the river flow, weather, water levels etc. (Bartram and Balance, 1996). For example, dissolved salts content and ion composition are affected by such factors as water exchange, transition of salts into water during wave disturbance of bottom sediments, diffusion of salts from ground waters, atmospheric precipitations and evaporation.

Biotic factors make a significant effect upon water quality. For example, the primary production/organic matter destruction ratio determines the dissolved oxygen concentration patterns, pH, the content of organic matter, suspended particulate matter, abundance of phytoplankton and bacterial plankton. Algae and higher aquatic plants assimilate nitrogen, phosphorus and other chemical substances in course of photosynthesis. However, if the primary production exceeds the organic matter destruction

considerably, a large amount of organic matter passes into water, causing water quality deterioration.

Human factors include artificial modifications of water ecosystems' hydrological conditions by way of dam construction or flow diversion, wetlands drainage and contamination of water bodies. The latter is brought about by discharging domestic and industrial sewage or using chemical compounds, such as pesticides or mineral and organic fertilizers in agricultural lands within a catchment area (Bartram and Balance, 1996).

### **Materials and methods**

The approaches to ecological water quality assessment are divided into two major groups: 1) physical and chemical; 2) biological.

Physical and chemical methods take into account such parameters as water transparency, suspended particulate matter concentration (turbidity), ion composition, water hardness, total dissolved salts content, nutrients and organic matter content, dissolved gases concentration, pH.

Biological methods are based upon assessing the living organisms' (biological indicators') response to mineral and organic substances, present in water.

Various living organisms can be used as biological indicators: algae, in particular – diatoms, higher aquatic plants, different species of aquatic invertebrates and fishes.

Biological methods of water quality assessment have the following advantages as compared with physical and chemical methods. Firstly, biological methods provide accurate and unbiased information on water quality, because they use aquatic organisms constantly exposed to physical and chemical factors depending upon the pollution type and level (Szczepocka et al., 2014). Secondly, findings obtained by biological methods are less affected by momentary, unpredictable changes in the environmental conditions. Physical and chemical parameters, on the contrary,



may fluctuate due to such accidental events as rains, floods or melting of snow (Pligin et al. 1998, Szczepocka et al. 2014). Thirdly, physical and chemical methods assess water quality only at the moment of sampling. Such assessment is incomplete, because water quality may change within a short time period, for example, at the moment of sewage discharge (Pligin et al., 1998).

Organisms used for biological indication must comply with the following requirements (Semenchenko, 2004, Shcherbak and Semenyuk, 2011): their communities must be marked by high taxonomical and ecological diversity, they must be widespread in various water bodies, play an important role in water ecosystems' functioning, and their structural and functional parameters must be closely related to ecological factors.

### Results and discussions

Saprobiological assessment of water quality is one of the most widely used biological indication method. *Saprobity* is an organism' capability to live in water bodies with a particular concentration of organic matter. This term can also be defined as the level of a water body's pollution with organic compounds. *Saprobity system* is a system of aquatic organisms (bacteria, plants and animals) which, by their presence, reflect different levels of water quality (Sládeček 1973).

The following saprobity zones are distinguished: xenosaprobic ( $\chi$ -saprobic) – “very clean” water; oligosaprobic ( $\sigma$ -saprobic) – “clean” water;  $\beta$ -mesosaprobic – “quite clean – mildly polluted” water;  $\alpha$ -mesosaprobic – “moderately polluted – dirty” water; polysaprobic ( $\rho$ -saprobic) – “very dirty” water.

Each saprobity zone has a list of indicator organisms. For example, the  $\rho$ -saprobic zone list includes about 30 species, among which there are bacteria, fungi, protists, some rotifers, oligochaetes, dipteran maggots. For  $\beta$ - $\alpha$ -meso- and oligosaprobic zones these lists are much larger. Today the lists of saprobity indicators contain over two thousand species of plants and animals.

Saprobiological component of water quality can be assessed with the help of two major approaches: according to the indicator species ratio and according to the saprobic index.

When the first approach is used, it is necessary to count the number of indicator species of each saprobity zone and to calculate its percentage share in the total number of indicator species. This approach makes it possible to find, which saprobity zone most indicator species refer to. Thus, it is possible to make a conclusion about the water quality.

The more accurate assessment is provided by applying the Pantle-Buck saprobic index (1955) modified by V. Sládeček (1965). This method takes into account species-specific saprobic indexes of indicator organisms and their abundance (number or biomass) in a sample. The saprobic index is calculated in accordance with the following equation.

$$S = \frac{\sum_{i=1}^N s_i h_i}{\sum_{i=1}^N h_i},$$

where

$S$  – saprobic index of the community;

$s_i$  – species-specific saprobic index of an indicator species  $i$ ;

$h_i$  – number or biomass of an indicator species  $i$ .

In  $\chi$ -saprobic zone the saprobic index is  $\leq 1.0$ , in  $\sigma$ -saprobic – 1.1–1.5, in  $\beta$ -mesosaprobic – 1.6–2.5, in  $\alpha$ -mesosaprobic – 2.6–3.5, in  $\rho$ -saprobic 3.6–4.0.

The following figure illustrates the long-term dynamics of the Sládeček saprobic index of epiphytic algal communities in the Kyiv Water Reservoir (the Dnieper River, Ukraine) (Fig. 1). As one can see, the saprobic index fluctuates between  $1.60 \pm 0.05$  and  $1.72 \pm 0.08$ , thus the water quality in the Kyiv water reservoir refers to  $\beta$ -mesosaprobic zone (“quite clean – mildly polluted” water).

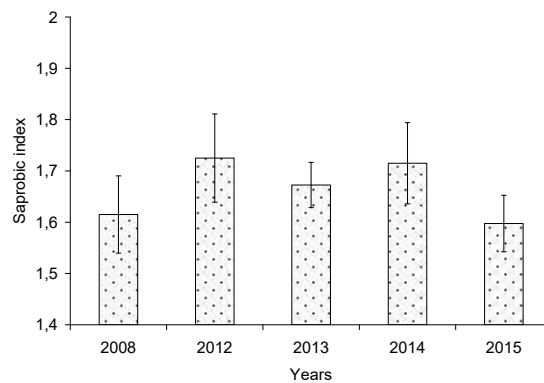


Fig. 1. Long-term dynamics of the Sládeček saprobic index of epiphytic algal communities in the Kyiv Water Reservoir (the Dnieper River, Ukraine) (unpublished field data of the author).

The results of this biological assessment are confirmed by published hydrochemical data (Yakushin et al., 2017), according to which the ammonium nitrogen concentration in the Kyiv Water Reservoir varies from  $0.137 \pm 0.007$  to  $0.453 \pm 0.030$  mg N  $\times$  dm<sup>-3</sup> and inorganic phosphorus concentration – from  $0.012 \pm 0.002$  to  $0.107 \pm 0.005$  mg P  $\times$  dm<sup>-3</sup>, corresponding to  $\beta$ -mesosaprobic zone.

An important modification of the saprobic index was made by Zelinka and Marvan (1961), who introduced a term “saprobic valency” of indicator species. The Zelinka-Marvan method is based upon the idea, that a separate species cannot be a representative indicator of only one saprobic zone; instead, its distribution across saprobic zones is described by a normal curve, corresponding to its tolerance to organic pollution. The form of this curve and the area enclosed by it defines a species’ “saprobic valency”. The Zelinka-Marvan index is calculated in accordance with the following equation:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^N s_i v_i h_i}{\sum_{i=1}^N v_i h_i},$$

where

$S$  – saprobic index of the community;

$s_i$  – species-specific saprobic index of an indicator species  $i$ ;

$v_i$  – saprobic valency of an indicator species  $i$ ;

$h_i$  – number or biomass of an indicator species  $i$ .

Both Sládeček index and Zelinka-Marvan index can be calculated for communities of aquatic organisms relating to different trophic levels (algae, invertebrates) and ecological groups (plankton, benthos, periphyton, nekton).

However, there are also different methods of water quality assessment, which are based upon the specific group of aquatic organisms: diatoms, macroinvertebrates, higher aquatic plants and fishes.

#### **Diatoms as Water Quality**

**Indicators.** Diatoms are reliable biological indicators of environmental changes, including eutrophication, organic pollution and oxygen regime changes, as well as climatic fluctuations. Benthic (periphytic) diatom communities are most commonly used for this purpose, especially when assessing water quality in rivers. It is explained by the fact that benthic (periphytic) diatoms are attached to substrata and, unlike planktonic algae, remain in one and the same section of the river all the time. So, they reflect the water quality parameters in that very section of the river, where they live (Martin and Fernandez, 2012).

The advantages of using diatoms as biological indicators are the following. Firstly, diatoms can be identified to the species or infraspecies taxa level without the necessity to use algal cultures.

Secondly, diatoms are widespread in water bodies and watercourses of different types and marked by high taxonomic diversity. Thirdly, due to their siliceous frustules, permanent slides of diatoms can be stored for an indefinitely long time. Fourthly, ecological characteristics of many diatom species are well known and a lot of diatom indices have been developed.

There is wide range of water quality assessment methods with using diatoms, and the most of them are based upon calculation of the so called diatom indices. These indices are classified depending upon the research aim and the way of expressing the findings obtained. One should distinguish the following groups of diatom indices (Prygiel and Coste, 2000): saprobic indices indicating the level of water pollution with easily oxidable organic compounds; trophic indices indicating the level of water enrichment with nutrients; water acidification indices; complex water quality indices, integrating the level of water pollution with organic compounds, nutrients and other parameters, such as chlorides content, conductivity, pH (Prygiel and Coste, 2000).

Most of these indices are based upon the equation of the Zelinka-Marvan saprobic index (1961). Various diatom indices differ mainly by the number of taxa involved (species and infraspecific taxa, genera, other taxonomical units) and the values of species-specific indices of pollution sensitivity and indicator valencies. Large-scale studies with using diatom indices were conducted in France (Prygiel and Coste, 2000), Great Britain (Kelly and Whitton 1995), Finland (Eloranta and Soininen, 2002). The species-specific indices of pollution and indicator valencies are taken from autecological lists, which, in particular, were compiled in France (Prygiel and Coste 2000), Germany (Lange-Bertalot, 1979) and the Netherlands (Van Dam et al., 1994).

For example, the paper written by H. Van Dam with co-authors (1994) represents the list of 948 species and infraspecific taxa, where each of them has a specific indicator value in relation to pH,

salinity, oxygen concentration, nitrogen, organic matter content. The most numerous among these taxa are species from the genera *Navicula* (a genus distinguished by very broad ecological amplitude) and *Nitzschia* (a genus containing a lot of pollution-tolerant species). Each taxon is provided with a unique eight-letter code, facilitating computer processing of data obtained. The most widespread diatom indices used in many countries include the IPS (the Pollution Sensitivity Index), the IBD (the Biological Diatom Index), the EPI-D (the Eutrophication/Pollution Index Diatom-Based), the TDI (the Trophic Diatom Index) and many others.

Some diatom indices were developed with consideration taken of the specific hydrobiological parameters of a particular aquatic ecosystem or a particular catchment area. For example: the PDI (the Pampean Diatom Index) is used to assess water quality in Argentinian rivers (Gomez and Licurci, 2001), the Di-CH (the Swiss Diatom Index) – to assess water quality in Switzerland (Nurlimann, Neiderhauser, 2006), the IO-Diatom Index – the index adapted for monitoring rivers in Poland (Szczepocka et al., 2014).

One should point out that calculating diatom indices is quite a time-consuming and labor-intensive process, because this approach can be applied only if the diatoms are precisely identified to the level of species and infraspecific taxa. Therefore, it requires involving highly-qualified and experienced research personnel, using expensive equipment and chemical reagents. This is why a researcher from Taiwan (Wu, 1999) proposed a simplified diatom index – the so called Generic Diatom Index (GDI), which requires diatoms to be identified only to the level of genus. The Generic Diatom Index is calculated in accordance with the following equation:

$$GDI = \frac{\% \text{ of sensitive taxa}}{\% \text{ of tolerant taxa}}$$

The lists of sensitive and tolerant taxa are provided in published papers

(Van Dam et al., 1994; Wu, 1999; Hill et al. 2001, 2003).

A similar approach was applied in the paper describing water quality assessment in the rivers of the Upper

Prypiat catchment area (Ukraine) (Shcherbak et al., 2012) (Table 1), based upon the list of sensitive and tolerant taxa set forth in (Van Dam et al., 1994; Hill et al., 2001, 2003).

Table 1

Comparative assessment of water quality in the rivers of the Upper Prypiat catchment area (Ukraine) according to Generic Diatom Indices (Shcherbak et al., 2012)

Rivers	GDI of organic pollution sensitivity	GDI of oxygen regime	Siltation index
Prypiat River (with Liubiaz Lake)	1.75	2.33	7
Stokhid River	1.04	1.47	17
Korostianka River	0.93	1.54	22

The above table shows that the highest values of the organic pollution sensitivity index and the oxygen regime index, as well as the lowest siltation index were observed in the Prypiat River, which is characterized by undisturbed conditions. The minimal organic pollution sensitivity index and the maximal siltation index were recorded in the artificial Korostianka River, which is actually a soil reclamation canal. The minimal oxygen regime index is registered for the Stokhid River, which can be explained by the impact of Liubeshov Town. So, the Prypiat River is distinguished by the best water quality among the rivers under study (Shcherbak et al., 2012).

The Generic Diatom Index was shown to correlate with organic matter content in rivers (Wu, 1999), thus it can be used for representative assessment of their water quality.

**Bottom Invertebrates as Water Quality Indicators.** Many countries in Europe use bottom invertebrates as biological indicators. Bottom indicator organisms are divided into two groups: sensitive species, whose abundance decreases with pollution, and tolerant species, whose abundance increases with pollution. The first group of species comprises maggots of insects from orders Ephemeroptera, Trichoptera, Plecoptera. The second group of species includes, in particular, the isopod *Asellus aquaticus* (L.), the amphipod *Gammarus pulex* (L.).

A review of some widely used water quality indices based on bottom invertebrates is provided in a paper by N. Szczerbińska and M. Gałczyńska (2015). They include, in particular:

*Trent Biotic Index (TBI).* The index is based upon the number of identified taxa of bottom invertebrates in relation to six key taxa, detected in the fauna at the sampling site. The indicator taxa are the following: types – Platyhelminthes, Annelida, Mollusca, subtypes – Crustacea, orders – Plecoptera, Ephemeroptera, Trichoptera, Neuroptera, Coleoptera, families – Chironomidae, Simuliidae, Elayidae. The advantage of this index consists in possibility to identify organisms to the level of family, genus or species. However, this index also has a disadvantage – its value may be affected by presence of drift organisms. Besides, the index does not reflect the inorganic pollution level.

*Chandler Biotic Index* – macroinvertebrates are identified, counted and each individual group is provided with its own score. The following taxa are used as bioindicator organisms: orders Ephemeroptera, Tricladida, Diptera, families Taeniopterygidae, Perlidae, Perlodidae, Isoperliade, Chloroperlidae, Leucotridae, Capniidae, Nemouridae, Glossiphoniidae, Simuliade. The index correlates with organic matter content in water. The disadvantage of the index is that organisms sorting, identification and counting requires much time.

Besides, the index does not reflect the inorganic pollution level.

**Biological Monitoring Working Party Score (BMWP Score).** When this approach is used, bottom invertebrates are identified to the level of family, and after that each family is provided with a score from 1 to 10. The index is calculated as a sum of scores for each family, represented in the sample. The indicator organisms include the following families: Planariidae, Neritidae, Piscicolidae, Astacidae, Siphonuridae, Perlidae, Calopterygidae, Pleidae, Scirtidae, Sialidae, Psychomyiidae, Simuliidae, Chironomidae, Oligochaeta. This index correlates with chemical composition of water and can reflect the pollution during a certain time period. However, this index applies only to bottom invertebrates inhabiting European rivers.

**Fishes as Water Quality Indicators.** On the grounds of indicator characteristics of fishes, the Index of Biotic Integrity (the IBI) was proposed. This index takes into account species composition, trophic relations, size and condition of fishes. Water quality is classified into three classes (Klimaszyk and Trawinski, 2007).

The list of the most sensitive biological indicators to water pollution includes trout *Salmo trutta* L., roach *Rutilus rutilus* (L.), and pikeperch *Sander lucioperca* (L.). Somewhat less sensitive indicator species comprise carp *Cyprinus carpio* L., bream *Abramis brama* (L.), and perch *Perca fluviatilis* L. On the grounds of the IBI the European Fish Index was developed (EFI+), which was calculated from data collected at over 14000 observation sites located on 2700 rivers in 15 European countries (EFI+ Manual, 2009; Szczerbińska and Gałczyńska, 2015). This index makes it possible to assess water quality according to fish fauna diversity.

**Higher Aquatic Plants as Water Quality Indicators.** Higher aquatic plants can also serve as biological indicators of water quality. In accordance with the Water Framework Directive 2000/60/EC macrophytes are

acknowledged to be important components of aquatic ecosystems' state assessment. When using higher aquatic plants as water quality indicators, it is necessary to keep in mind that their indicator values may vary depending upon the water-body type. Therefore they are not suitable for determining the difference in the species ecological tolerance in different countries of Europe (Szczerbińska and Gałczyńska, 2015).

In European countries there are a lot of indices using macrophytes for water quality assessment, in particular: the Biological Macrophyte Index (IBMR) in France, the Ecological State Macrophyte Index (ESMI) and the Macrophyte River Index in Poland, the Macrophyte Index (MI) in Germany. For example, the Macrophyte Index (MI) (Melzer, 1999) was developed for Alpine lakes. The catalogue contains 45 species of submerged macrophytes relating to 9 indicator groups. The average MI of the lake was found to correlate with the total phosphorus concentration in water. The Ecological State Macrophyte Index (ESMI) was developed for charophyte-colonized stratified and unstratified lakes in Poland. The index takes into account two aspects of higher aquatic plants communities: taxonomic composition and abundance. The plants are examined along transects 20–30 m wide, and the number of transects depends upon the shoreline length and the lake area. The index varies from 0 to 1, where 1 stands for undisturbed conditions, and 0 – for degraded water bodies (Szczerbińska and Gałczyńska, 2015).

### Conclusions

Therefore, ecological water quality – is well-being of an aquatic ecosystem, with the main focus on protection of the aquatic environment, and human life and health. The requirements for physical, chemical and biological properties of water are set in the water quality standards, which may be developed by particular countries or introduced by international organizations.

Ecological water quality depends upon natural and human factors. Natural factors are in their turn divided into abiotic (for example, geological, meteorological, hydrological) and biotic (for example, the ratio of primary production and organic matter destruction). The main human factors affecting water quality include artificial modification of aquatic ecosystems' hydrological conditions and their pollution with diverse chemical compounds.

There are a lot of approaches to ecological water quality assessment

according to both abiotic (physical and chemical) and biological parameters. While physical and chemical methods characterize water quality at the moment of sampling, biological methods provide an integral picture of water quality for a certain time period. Besides, biological methods are more informative, because they reflect the aquatic ecosystem's response to pollution. On the whole, the most reliable data on ecological water quality can be obtained by combining physical, chemical and biological methods.

### Список використаних джерел

Bartram J., Ballance R. (eds) World Health Organization and United Nations Environment Programme. Water quality monitoring: a practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programs. E & FN Spon, London. 1996. 383 p.

EFI+ Manual. Manual for the application of the New European Fish Index. 2009. Available from: <http://efi-plus.boku.ac.at/software/doc/EFI+Manual.pdf>

Eloranta P., Soininen J. Ecological status of some Finnish rivers evaluated using benthic diatoms communities. *J Appl Phycol.* 2002. 14:1–7. <https://doi.org/10.1023/A:1015275723489>

Gomez N., Licursi M. The Pampean Diatom Index (IDP) for assessment of rivers and stream in Argentina. *Aquat Ecol.* 2001. 35:173–181

Guidelines for drinking-water quality, fourth edition. World Health Organization. Available from: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/2011/dwq\\_guidelines/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwq_guidelines/en/)

Hill B.H., Stevenson R.J., Pan Y., Herlihy A.T., Kaufmann Ph.R., Johnson C.B. Comparison of correlations between environmental characteristics and stream diatom assemblages characterized at genus and species levels. *J N Am Benthol Soc.* 2001. 20 (2): 299–310. <https://doi.org/10.2307/1468324>

Hill B., Herlihy A., Kaufmann R. et al. Assessment of streams of the eastern United States using a periphyton index of biotic integrity. *Ecological Indicators.* 2003. 2:325–338. [https://doi.org/10.1016/S1470-160X\(02\)00062-6](https://doi.org/10.1016/S1470-160X(02)00062-6)

Kelly M.G., Whitton B.A. The trophic Diatom Index: a new index for monitoring eutrophication in rivers. *J Appl Phycol.* 1995. 7:433–444. <https://doi.org/10.1007/BF00003802>

Klimaszyk P., Trawiński A. Assessment of rivers based on benthic macroinvertebrates – Indeks BMWP-PL –Poznań, 2007, 2-6 (in Polish)

Lange-Bertalot H. Pollution tolerance of diatoms as a criterion for water quality estimation. *Nova Hedwigia.* 1979. 64:285–304

Martin G., Fernandez M.R. Diatoms as Indicators of Water Quality and Ecological Status: Sampling, Analysis and Some Ecological Remarks, Ecological Water Quality – Water Treatment and Reuse. 2012. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/300804909\\_Diatoms\\_as\\_Indicators\\_of\\_Water\\_Quality\\_and\\_Ecological\\_Status\\_Sampling\\_Analysis\\_and\\_Some\\_Ecological\\_Remarks](https://www.researchgate.net/publication/300804909_Diatoms_as_Indicators_of_Water_Quality_and_Ecological_Status_Sampling_Analysis_and_Some_Ecological_Remarks)

Melzer A. Aquatic macrophytes as tools for lake management. *Hydrobiologia.* 1999. 395:181–190. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-3282-6\\_17](https://doi.org/10.1007/978-94-017-3282-6_17)

Nurlimann J., Niederhauser P. Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer: Kieselalgen Stufe F (flachendeckend) Bundesamt für Umwelt. BAFU, Bern. 2006. 130 p. (in German)

Pantle R., Buck H. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. *Gas Wasserfach Wasser Abwasser*. 1955. 96:609–620

Parameters of water quality: interpretation and standards. Environmental Protection Agency, 2001 Available from: [https://www.epa.ie/pubs/advice/water/quality/Water\\_Quality.pdf](https://www.epa.ie/pubs/advice/water/quality/Water_Quality.pdf)

Плигин Ю.В., Щербак В.И., Арсан О.М., Михайленко Л.Е., Матчинская С.Ф., Майстрова Н.В. Влияние поверхностного стока на биоту Каневского водохранилища в черте г. Киева и рекомендации по его очистке. Материалы международной научно-практической конференции «Экология городов и рекреационных территорий», Издательство «Астрология», Одесса. 1998. 272-277

Prygiel J., Coste M. Guide méthodologique pour la mise en œuvre de l'Indice Biologique Diatomées. NF T. 2000. 90-354. Étude Agences de l'Eau – Cemagref Bordeaux Романенко В.Д. Основи гідроекології. Київ: Обереги. 2001. 728 с.

Shcherbak V.I., Maistrova N.V., Semenuyk N.Ye. Structural and Functional Organization of Phytoplankton and Phytomicroepiphyton of the Rivers of the "Pripyat – Stokhod" National Natural Park. *Hydrobiological Journal*. 2012. 48(6):3–27

Shcherbak V.I., Semenuyk N.Ye. Use of Phytoperiphyton for the Assessment of the Ecological State of Anthropically Changed Aquatic Ecosystems. *Hydrobiological Journal*. 2011. 47(4):24–40. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v47.i4.20>

Sládeček V. The future of the saprobity system. *Hydrobiologia*. 1965. 25:518–537. <https://doi.org/10.1007/BF00838511>

Sládeček V. System of water quality from the biological point of view. *Archiv für Hydrobiologie Ergebnisse Limnol*. 1973. 7:1–218

Szczepocka E., Szulc B., Szulc K. et al. Diatom indices in the biological assessment of the water quality based on the example of a small lowland river. *Oceanological and Hydrobiological Studies*. 2014. 43(3): 265–273. <https://doi.org/10.2478/s13545-014-0141-z>

Szczerbińska N., Gałczyńska M. Biological methods used to assess surface water quality. *Arch Pol Fish* 24:185–196. <https://doi.org/10.1515/aopf-2015-0021>

Van Dam H., Mertens A., Sinkeldam J. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Nether Jour of Aquatic Ecol*. 1994. 28(1):117–133

Wu J.T. A generic index of diatom assemblages as bioindicator of pollution in the Keelung River of Taiwan. *Hydrobiologia*. 1999. 397:79–87. <https://doi.org/10.1023/A:1003694414751>

Yakushin V.M., Shcherbak V.I., Semenuyk N.Ye., Linchuk M.I. Hydrochemical characteristics of the Kiev Reservoir at the present time. *Hydrobiological Journal*. 2017. 53 (6): 96–109. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v53.i6.100>

Zelinka M., Marvan P. Zur Präzisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fließender Gewässer. *Arch Hydrobiol*. 1961. 57:389–407

### References (translated & transliterated)

Bartram, J., Balance, R. (eds) (1996) World Health Organization and United Nations Environment Programme. Water quality monitoring: a practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programs. E & FN Spon, London. 383 p.

EFI+ Manual. 2009 – Manual for the application of the New European Fish Index. Available from: <http://efi-plus.boku.ac.at/software/doc/EFI+Manual.pdf>

- Eloranta, P., Soininen, J. (2002) Ecological status of some Finnish rivers evaluated using benthic diatoms communities. *J Appl Phycol.* 14:1–7. <https://doi.org/10.1023/A:1015275723489>
- Gomez, N., Licursi, M. (2001) The Pampean Diatom Index (IDP) for assessment of rivers and stream in Argentina. *Aquat Ecol.* 35:173–181
- Guidelines for drinking-water quality, fourth edition. World Health Organization. Available from: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/2011/dwq\\_guidelines/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwq_guidelines/en/)
- Hill, B.H., Stevenson, R.J., Pan, Y., Herlihy, A.T., Kaufmann, Ph.R., Johnson, C.B. (2001) Comparison of correlations between environmental characteristics and stream diatom assemblages characterized at genus and species levels. *J N Am Benthol Soc.* 20 (2): 299–310. <https://doi.org/10.2307/1468324>
- Hill, B., Herlihy, A., Kaufmann, R. et al. (2003) Assessment of streams of the eastern United States using a periphyton index of biotic integrity. *Ecological Indicators.* 2:325–338. [https://doi.org/10.1016/S1470-160X\(02\)00062-6](https://doi.org/10.1016/S1470-160X(02)00062-6)
- Kelly, M.G., Whitton, B.A. (1995) The trophic Diatom Index: a new index for monitoring eutrophication in rivers. *J Appl Phycol.* 7:433–444. <https://doi.org/10.1007/BF00003802>
- Klimaszuk, P., Trawiński, A. (2007) Assessment of rivers based on benthic macroinvertebrates – Indeks BMWP-PL –Poznań, 2-6 [in Polish]
- Lange-Bertalot, H. (1979) Pollution tolerance of diatoms as a criterion for water quality estimation. *Nowa Hedwigia.* 64:285–304
- Martin, G., Fernandez, M.R. (2012) Diatoms as Indicators of Water Quality and Ecological Status: Sampling, Analysis and Some Ecological Remarks, Ecological Water Quality – Water Treatment and Reuse. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/300804909\\_Diatoms\\_as\\_Indicators\\_of\\_Water\\_Quality\\_and\\_Ecological\\_Status\\_Sampling\\_Analysis\\_and\\_Some\\_Ecological\\_Remarks](https://www.researchgate.net/publication/300804909_Diatoms_as_Indicators_of_Water_Quality_and_Ecological_Status_Sampling_Analysis_and_Some_Ecological_Remarks)
- Melzer, A/ (1999) Aquatic macrophytes as tools for lake management. *Hydrobiologia.* 395:181–190. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-3282-6\\_17](https://doi.org/10.1007/978-94-017-3282-6_17)
- Nurlimann, J., Niederhauser, P. (2006) Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer: Kieselalgen Stufe F (flachendeckend) Bundesamt für Umwelt. BAFU, Bern. 130 p. (in German)
- Pantle, R., Buck, H. (1955) Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. *Gas Wasserfach Wasser Abwasser.* 96:609–620
- Parameters of water quality: interpretation and standards. Environmental Protection Agency, 2001 Available from: [https://www.epa.ie/pubs/advice/water/quality/Water\\_Quality.pdf](https://www.epa.ie/pubs/advice/water/quality/Water_Quality.pdf)
- Pligin, Yu.V., Shcherbak, V.I., Arsan, O.M., Mikhailenko, L.E., Matchinskaya, S.F., Maystrova, N.V. (1998) Vliyanie poverhnosnogo stoka na bioty Kanevskogo vodohranilishcha v cherte g. Kieva i rekomendatsii po ego ochistke [Effect of surface flow upon the biota in the Kaniv Water Reservoir within Kyiv city and recommendations as to its purification]. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference “Ecology of Cities and Recreational Areas”, Astroprint Publishing House, Odessa: 272–277 [in Russian]
- Prygiel, J., Coste, M. (2000) Guide méthodologique pour la mise en œuvre de l'Indice Biologique Diatomées. NF T 90-354. Étude Agences de l'Eau – Cemagref Bordeaux
- Romanenko, V.D. (2001) Osnovy hidroekologii [Fundamentals of hydroecology]. Kyiv: Oberehy. 728 p. [in Ukrainian]
- Shcherbak, V.I., Maistrova, N.V., Semenuyk, N.Ye. (2012) Structural and Functional Organization of Phytoplankton and Phytomicroepiphyton of the Rivers of the "Pripyat – Stokhod" National Natural Park. *Hydrobiological Journal.* 48(6):3–27.



Shcherbak, V.I., Semenuyk, N.Ye. (2011) Use of Phytoplankton for the Assessment of the Ecological State of Anthropically Changed Aquatic Ecosystems. *Hydrobiological Journal*. 47(4):24–40. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v47.i4.20>

Sládeček, V. (1965) The future of the saprobity system. *Hydrobiologia*. 25:518–537. <https://doi.org/10.1007/BF00838511>

Sládeček, V. (1973) System of water quality from the biological point of view. *Archiv für Hydrobiologie Ergebnisse Limnol.* 7:1–218.

Szczepocka, E., Szulc, B., Szulc, K. et al. (2014) Diatom indices in the biological assessment of the water quality based on the example of a small lowland river. *Oceanological and Hydrobiological Studies*. 43(3): 265–273. <https://doi.org/10.2478/s13545-014-0141-z>

Szczerbińska, N., Gałczyńska, M. (2015) Biological methods used to assess surface water quality. *Arch Pol Fish*. 24:185–196. <https://doi.org/10.1515/aopf-2015-0021>

Van Dam, H., Mertens, A., Sinkeldam, J. (1994) A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Nether Jour of Aquatic Ecol*. 28(1):117–133.

Wu, J.T. (1999) A generic index of diatom assemblages as bioindicator of pollution in the Keelung River of Taiwan. *Hydrobiologia* 397:79–87. <https://doi.org/10.1023/A:1003694414751>

Yakushin, V.M., Shcherbak, V.I., Semenyuk, N.Ye., Linchuk, M.I. (2017) Hydrochemical characteristics of the Kiev Reservoir at the present time. *Hydrobiological Journal*. 53 (6): 96–109. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v53.i6.100>

Zelinka, M., Marvan, P. (1961) Zur Präzisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fließender Gewässer. *Arch Hydrobiol*. 57:389–407

Отримано: 18 вересня 2022  
Прийнято: 21 листопада 2022



УДК: 574.6+574.5

DOI 10.35433/naturaljournal.2.2023.57-68

## ВПЛИВ ЗВОРОТНИХ ВОД ЖЕЖЕЛІВСЬКОГО ГРАНІТНОГО КАР'ЄРУ НА ФОРМУВАННЯ РОСЛИННИХ УГРУПОВАНЬ

О. В. Медвідь<sup>1</sup>, І. Ю. Коцюба<sup>2</sup>, І. В. Хом'як<sup>3</sup>

Робота присвячена дослідженню впливу скиду зворотних вод на динаміку та стан рослинних угруповань Жежелівського гранітного кар'єру. Метою дослідження є вивчення впливу зворотних вод на рослинні угруповання території планової діяльності Приватного акціонерного товариства «Жежелівський кар'єр». Для досягнення мети були поставлені такі завдання: дослідити і класифікувати рослинні угруповання на території планової діяльності Жежелівського гранітного кар'єру; встановити провідні фактори, які змінюються під час викидів зворотних вод; спрогнозувати ймовірний екологічний вплив зворотних вод на раритетні компоненти біоти.

Територія Жежелівського родовища гранітів це типовий антропогенний ландшафт із високим рівнем антропогенної трансформації, великою часткою перелогів та чагарників. Біота досліджуваної території складається із тривіальної, часто синантропної флори та фауни. Вони представлені поширеними для цього району зональними видами. Рослини досліджуваної території належать до 11 класів, 12 порядків, 14 союзів та 18 асоціацій за класифікацією Браун-Бланке. На території родовища не виявлено оселищ, видів флори та фауни, які віднесені до Червоної книги України, Зеленої книги України, додатків до резолюцій

Бернської конвенції. Під дію впливу скидів зворотних вод потрапляють прибережні екосистеми із автотрофними блоками у вигляді класів рослинності *Phragmiti-Magnosalicetea* та *Salicetea virginea*. Скидання зворотних вод із Жежелівського кар'єру стабілізує існування евтрофних прибережних оселищ із асоціаціями рослинності *Phragmitetum australis* та *Turphetum angustifoliae*. Також за рахунок підвищення багаторічного режиму зволоження в

<sup>1</sup> Директор

Товариства із обмеженою відповідальністю «ЕКО-МБ»  
м. Житомир, Житомирська обл., Україна  
e-mail: eko-mb@ukr.net

<sup>2</sup> кандидат біологічних наук,

старший викладач кафедри екології та географії  
(Житомирський державний університет імені Івана Франка)  
м. Житомир, Житомирська обл., Україна  
e-mail: is-p-ko@ukr.net

ORCID: 0000-0002-1875-4973

<sup>3</sup> кандидат біологічних наук, доцент,

доцент кафедри екології та географії  
(Житомирський державний університет імені Івана Франка)  
м. Житомир, Житомирська обл., Україна  
e-mail: khotyakiwan@gmail.com

ORCID: 0000-0003-0080-0019

прибережних ділянках покращується стан асоціації *Salici-Populetum*, яка на березі річок, за межами зони планової діяльності, може набувати статусу раритетного оселища (G1.11.

*Riverine Salix woodland*). За показниками природної динаміки та рівня антропогенної трансформації прибережні оселища є еугемеробними екосистемами на стадії переходу від трав'яної до деревно-чагарникової стадії автогенної сукцесії. Підняття рівня води за рахунок скиду зворотних вод сприятиме їхньому відновленню та поверненню до менш трансформованого стану.

**Ключові слова:** екосистеми, антропогенна трансформація, природна динаміка, скид зворотних вод.

## INFLUENCE OF ZHEZHELEVSKY GRANITE QUARRY WASTEWATER ON THE FORMATION OF PLANT COMMUNITIES

O. V. Medvid, I. Y. Kotsiuba, I. V. Khomiak

The work is devoted to studying the impact of reclaimed water discharge on the dynamics and state of plant communities in the Zhezheliv granite quarry. The purpose of the study is to study the effect of return water on plant communities in the territory of the planned activity of the Private Joint-Stock Company "Zhezhelivsky Quarry". To achieve the goal, the following tasks were set: to investigate and classify plant groups in the territory of the planned activity of the Zhezheliv granite quarry; to establish the leading factors that change during the release of return waters; to predict the probable environmental impact of reclaimed waters on rare components of the biota. The territory of the Zhezheliv granite deposit is a typical anthropogenic landscape with a high level of anthropogenic transformation with a large share of fallows and shrubs. The biota of the studied territory consists of trivial, often synanthropic flora and fauna. They are represented by zonal species common to this area. The vegetation of the studied area belongs to 11 classes, 12 orders, 14 unions, and 18 associations according to the Brown-Blanquet classification. No settlements, species of flora, and fauna, which are included in the Red Book of Ukraine, the Green Book of Ukraine, and annexes to the resolutions of the Berne Convention, were found on the territory of the deposit.

Coastal ecosystems with autotrophic blocks in the form of vegetation classes *Phragmiti-Magnocaricetea* and *Salicetea purpurea* are affected by return water discharges. The discharge of reclaimed water from the Zhezheliv quarry stabilizes the existence of eutrophic coastal habitats with *Phragmitetum australis* and *Typhetum angustifoliae* vegetation associations. Also, by increasing the long-term wetting regime in the coastal areas, the condition of the *Salici-Populetum* association improves, which on the banks of rivers outside the zone of planned activity can acquire the status of a rare habitat (G1.11. *Riverine Salix woodland*). According to indicators of the dynamics of natural dynamics and the level of anthropogenic transformation, coastal habitats are euhemerobic ecosystems at the stage of transition from the herbaceous to the tree-shrub stage of the autogenic succession. Raising the water level due to the discharge of Reclaimed waters will contribute to their restoration and return to a less transformed state.

**Key words:** ecosystems, anthropogenic transformation, natural dynamics, return water discharge.

### Вступ

Ставлення суспільства до довкілля еволюціонувало разом із суспільними відносинами, світоглядними концепціями та поширеними технологіями. З початку історії людства і до сьогодні воно залишається антропоцентричним. У дописемний період історії людина, відповідно до свого анімістичного світогляду, вважала себе рівноправною частиною природи, але намагалася піднятися над нею, вірячи в свою ексклюзивну здатність здійснювати магичні ритуали.

З приходом неолітичної господарської революції основою її світогляду стала діяльність антропоморфних богів покровителів стихій та ремесел. Перші держави трансформували ці уявлення так, щоб окремі представники еліти ставали рівними із цими богами. В ці часи починає панувати думка про богоподібність людини, яка зберігається аж до епохи індустріалізації. Коли науково-технічний прогрес почав витісняти релігійні концепції із суспільного життя, ідея того, що людина – цар

природи і природа є лише її ресурсом, була перенесена в новітні часи. З настанням екологічної кризи в середині ХХ століття, здавалося б антропоцентризм мав відступити. Однак, з'являється його продовження, згідно із яким людина є головною загрозою для біосфери. Це породило кілька природоохоронних концепцій, які виявилися не лише неспроможними вирішити проблеми із довкіллям, а й завдали йому шкоди (Хом'як, 2019).

Людський вплив на довкілля потрібно розглядати, оминаючи суб'єктивізм релігії, масової свідомості та філософії. Антропогенний фактор є рівнозначним із усіма іншими факторами і може класифікуватися як різновид біотичного фактора (Хом'як, 2018). Він відрізняється лише своїми масштабами в межах вузьких локалітетів та постійною новизною, до якої не встигають вироблятися еволюційні механізми включення в біосферні цикли. Однак, людина при цьому не є винятком. Від часів кисневої катастрофи і до утворення біогенних осадових гірських порід це могли робити й інші групи живих організмів. При цьому, вони здійснювали це в планетарних масштабах не менших за сучасні, викликані нашою діяльністю. Отже, кожен вплив людини на довкілля потрібно розглядати із наукою об'єктивністю, не навішуючи ярликів про те що «людина – цар природи» чи «людина губитель природи» (Wolters at al., 1973).

Одним із таких випадків є скиди зворотних вод із гірничих виробітків (Bischel at al., 2013; Lopes at al., 2015; Ofori at al., 2021). Оскільки під час видобування корисних копалин накопичені у виробітку дощові та підземні води можуть контактувати із гірськими породами, відмінними за фізико-хімічним складом від типових водоносних горизонтів, то їхні характеристики мають бути під постійним моніторингом (Jones at al., 2021). Також існують ризики

надходження забруднюючих речовин від транспорту, видобувних механізмів та вибухових робіт. Однак, кожен ситуацію потрібно розглядати окремо (Helgeson, 2009). У зв'язку з глобальною перебудовою клімату проблема забезпечення водними ресурсами стала однією із наймасштабніших. Найбільше страждають від цього малі річки помірної зони. Їхній водний баланс знижується та стає нерегулярним. На сьогодні дуже актуально подолати системну кризу водозабезпечення та водорегулювання малих річок (Zhang & Babovic, 2012). Для цього вишукуються різні джерела – від відновлення природних джерел і заповідання витоків річок, до удосконалення природоохоронного законодавства щодо землекористування в долинах річок (Хом'як та ін., 2021). Невід'ємною частиною цієї проблеми є економічне питання. Особливо воно гостро стоїть в бідних країнах, які знаходяться в політично нестабільній ситуації або в стані війни (Alpatova at al., 2022; Tow, 2021; Voulvoulis, 2018). На жаль, Україна є в цьому списку країн із підвищеними ризиками (Хом'як та ін., 2022). У зв'язку із цим актуальним є комплексне дослідження впливу зворотних вод на комплекси екосистем малих річок та території планової діяльності.

#### **Мета статті**

Метою дослідження є вивчення впливу зворотних вод на рослинні угруповання території планової діяльності Приватного акціонерного товариства «Жежелівський кар'єр».

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- дослідити і класифікувати рослинні угруповання на території планової діяльності Жежелівського гранітного кар'єру;
- встановити провідні фактори, які змінюються під час викидів зворотних вод;
- спрогнозувати ймовірний екологічний вплив зворотних вод на раритетні компоненти біоти.

### Матеріал та методи

Матеріалами дослідження є стандартні геоботанічні описи, які було зроблено в 2021 році на території планової діяльності Приватного акціонерного товариства «Жежелівський кар'єр». Жежелівське родовище гранітів ділянки Північна та Південна знаходиться в південно-східній околиці с. Жежелів Козятинського району Вінницької області. Жежелівське родовище гранітів ділянки Північна та Південна розробляється з 1910 року. Площа родовища складає 54,9 га. У користуванні Приватного акціонерного товариства «Жежелівський кар'єр» для здійснення планованої діяльності знаходяться земельні ділянки загальною площею 80,3156 га.

Польові дослідження рослинності проводилися за стандартними маршрутно-експедиційними та стаціонарними методами. Камеральні дослідження включали в себе класифікацію рослинних угруповань через обробку стандартних геоботанічних описів із використанням програми TURBOVEG for Windows (Hennekens, 2009). Оселища визначалися за їхніми автотрофними блоками згідно із класифікацією Браун-Бланке (Westhoff & Maarel, 1973) відповідно до Національного каталогу біотопів України (Дубина та ін. 2019; Davies, Moss, 2004). Синфітоіндикаційний аналіз здійснювався із використанням шкали Дідуха-Плюти (Дідух і Плюта, 1994; Дідух, 2012). Антропогенний фактор вимірювався за шкалою Дідуха-Хом'яка (Дідух і Хом'як, 2007; Хом'як та ін., 2020). Показник динаміки встановлювався за оригінальною методикою, розробленою в лабораторії теорії екосистем Житомирського державного університету імені Івана Франка (Khomiak et al., 2019).

Вимірювання показників якості води здійснювалися лабораторією ТОВ «Еко-МБ». Проби відбиралися із зворотних вод, а також у річці Каолінова (притока Гнилоп'яті, басейну

р. Дніпро) вище та нижче за течією місця скиду.

Встановлювалася наявність раритетних компонентів біоти до яких було віднесено види та оселища із Червоного списку МСОП, Європейського Червоного списку, додатків та резолюцій Бернської конвенції, Червоної книги України (в останній редакції відповідно до наказу Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України №111 від 15 лютого 2021 року) та Зеленої книги України (згідно із постановою Кабінету Міністрів України від 29 серпня 2002 р. № 1286). Список регіонально рідкісних видів (ті, які є рідкісними в межах області, але не занесені до Червоної книги України) затверджений рішенням Вінницької обласної ради від №1139 від 25 жовтня 2010 року (Категорії, 2017; Червона ..., 2009).

### Результати та обговорення

За результатами обстеження встановлено, що на досліджуваній території було відмічено оселища такого типу:

- 1) водні та прибережно-водні;
- 2) перелоги на стадії кореневищних злаків;
- 3) перелоги на стадії формування угруповань фанерофітів;
- 4) похідні ліси;
- 5) прибережні лісо-чагарникові утворення;
- 6) широколистяні ліси;
- 7) справжні луки;
- 8) виходи скельних порід;
- 9) рудеральні угруповання.

На досліджуваній території спостерігаються рослинні угруповання таких класів: Phragmiti-Magnocaricetea Klika in Klika et Novak 1941, Molinio-Arrhenatheretea R.Tx 1937, Sedo-Scleranthetetea Br.-Bl. 1955, Epilobietea angustifolii Tx. et Preising ex von Rochow 1951, Quercetea pubescentis Doing Kraft ex Scamoni et Passarge 1959, Rhamno-Prunetea Rivas Goday et Borja Carbonell ex Tüxen 1962, Robinietea Jurco ex Hadac et Sofron 1980, Polygono arenastri-Poëtea annuae Rivas-Martínez 1975, Plantagenetea majoris Tx. et

Preising ex von Rochow 1951, Artemisietea vulgaris Lohmeyer et al. ex von Rochow 1951.

Рослинність досліджуваної території належить до 11 класів, 12 порядків, 14 союзів та 18 асоціацій, виділених за методами еколого-флористичної класифікації Браун-Бланке. Синтаксономічна схема рослинності регіону має такий вигляд:

Phragmiti-Magnocaricetea Klika in Klika et Novak 1941: Phragmitetalia Koch 1926: Phragmition Koch 1926: Phragmitetum australis Savič 1926, Typhetum angustifoliae Pignatti 1953.

Molinio-Arrhenatheretea R.Tx 1937: Galietalia veri Mirk. et Naum. 1986: Agrostion vinealis Sipaylova, Mirk., Shelyag et V.Sl. 1985: Agrostion vinealis-Calamagrostietum epigeioris (Shelyag et al., 1981) Shelyag, V.Sl. et Sipaylova 1985, Agrostietum vinealis-tenuis Shelyag et al. 1985;

Sedo-Scleranthetetea Br.-Bl. 1955: Sedo-Scleranthetalia Br.-Bl. 1955: Hyperico perforati-Scleranthion perennis Moravec 1967: Thymo pulegioidis-Sedetum sexangularis Didukh et Kontar 1998.

Epilobietea angustifolii Tx. et Preising ex von Rochow 1951: Galeopsio-Senecionetalia sylvatici Passarge 1981: Fragarion vescae Tüxen ex von Rochow 1951: Calamagrostietum epigii Juraszek 1928.

Rhamno-Prunetea Rivas Goday et Borja Carbonell ex Tüxen 1962: Prunetalia spinosae R.Tx 1952: **Союз Lamio purpurei-Acerion tatarici Fitsailo 2007** Pruno stepposae-Aceretum tatarici Fitsailo 2007

Quercetea pubescentis Doing Kraft ex Scamoni et Passarge 1959: Quercetalia pubescenti-petreae Klika 1933: Союз Aceri tatarici-Quercion Zolyomi 1957.

Robinietea Jurco ex Hadac et Sofron 1980: Sambucetalia racemosae Oberd. ex Doing 1962: Sambuco-Salicion capreae Tx. et Neum et Oberd.1957: Salicetum capreae Schreier 1955.

Salicetea purpurea Moor 1958: Salicetalia purpureae Moor 1958: Salicion

albae de Soó 1951: Salici-Populetum Meijer Drees 1936.

Polygono arenastri-Poëtea annuae Rivas-Martínez 1975: Polygono arenastri-Poëitalia annuae Tx. in Géhu et al. 1972 corr. Rivas Martínez et al. 1991: Saginion procumbentis Tüxen et Ohba in Géhu et al. 1972: Herniarietum glabrae (Hohenester, 1960) Hejný et Jehlík 1975, Poetum annuae Gams 1927.

Plantagenetea majoris Tx. et Preising ex von Rochow 1951: Potentillo-Polygonetalia avicularis R. Tx. 1947: Plantagini-Prunellion Eliáš 1980: Agrostion tenuis-Poetum annuae Gutte et Hilbig 1975, Prunello-Plantaginetum Faliński 1963, Plantagini-Polygonetum avicularis Passarge 1964, Festuco pratensis-Plantaginetum Balserc et Pawlak 2000. Potentillion anserinae Tüxen 1947: Potentilletum anserinae Rapaics 1927.

Artemisietea vulgaris Lohmeyer et al. ex von Rochow 1951: Agropyretalia intermedio-repentis Th.Müll et Görs 1969: Convolvulo-Agropyron repentis Görs 1966: Agropyretum repentis Felföldy 1942; Onopordetalia acanthii Br.-Bl. et Tx. ex Klika et Hadač 1944: Onopordion acanthii Br.-Bl et al. 1926: Potentillo-Artemisietum absintii Faliński 1965,

За даними синфітоіндикаційного аналізу провідними факторами природних екосистем є багаторічний режим зволоження, загальний сольовий режим та вміст доступного рослинам нітрогену (нітратів та солей амонію). Із сольовим режимом корелює кислотність середовища. Прямі та опосередковані впливи зворотних вод на ці показники можуть зміщувати зони толерантності для окремих видів та їхніх угруповань. Це призводить до зниження життєздатності одних біосистем та підвищення інших що веде до антропогенної трансформації екосистем. У такому випадку пріоритет надається збереженню раритетних об'єктів або тих, які є цінним ресурсом для людини за відсутності попередніх.

Лучні екосистеми досить монотипні, пов'язані із перелогами та злаковниками, сформованими на виходах граніту. Тут домінують



представники роду *Agrostis* – *Agrostis capillaris* та *Agrostis vinealis*. Місцями зустрічаються в ролі співдомінантів *Carex hirta* та *Chamaecytisus ruthenicus*. Вони формують асоціації *Agrostio vinealis-Calamagrostietum epigeioris* та *Agrostietum vinealis-tenuis*. В окремих місцях сформувалися злаковники на основі куничника наземного в межах асоціації *Calamagrostietum epigii*. На ранніх стадіях перелогів формуються пирійники із домінуванням *Elymus repens*. В процесі сукцесії вони поступово переходять до лук або заростають фанерофітами. На порушених субстратах формуються псамофітні угруповання класу *Artemisietea vulgaris*. Тут домінують *Oenothera biennis* та *Artemisia absinthium*. Проективне покриття цих угруповань на щербенистих субстратах дуже низьке. Тут показники багаторічного режиму зволоження коливаються від 10,86 бала за шкалою Дідуха-Плюти до 11,9 бала, загального сольового режиму від 6,85 до 7,8, вмісту доступного нітрогену від 4,96 до 5,86. Оскільки, ці оселища знаходяться на добре дренованих підвищеннях, то скид зворотних вод не вплине на них поза межею контакту із системою водовідведення.

На виходах граніту на денну поверхню домінують різні види чебрецю в поєднанні із іншими літофільними, псамофільними та мезоксерофітними видами. Вони формують асоціацію *Thymo pulegioidis-Sedetum sexangularis*. Її показники багаторічного режиму зволоження коливаються від 9,04 бала до 11,67 бала, загального сольового режиму від 3,86 бала до 8,65 бала, вмісту доступного нітрогену від 6,63 бала до 5,73 бала. Вона також залишатиметься поза зоною впливу скиду зворотних вод, за винятком виходів скельних порід безпосередньо біля водойми. Тут можливе підтоплення оселища, що призведе до його деградації.

Частина перелогів, борти та старі схили кар'єру вкриті лісо-чагарниковими угрупованнями із

домінуванням клена татарського *Acer tataricum*. Це не до кінця сформовані угруповання асоціації *Pruno stepposae-Aceretum tatarici*. Східна частина території дослідження частково зайнята лісовими оселищами. Тут спостерігається помірно порушений та розріджений дубовий ліс. В трав'яному покриві домінують злаки (*Agrostis capillaris* та *Poa nemoralis*). В чагарниковому ярусі помітну роль відіграє *Acer tataricum*. Оскільки територія видобутку не розширюється протягом останніх кількох років, в багатьох місцях сформувалися похідні ліси класу *Robinietaea*. Вони за складом флори дуже близькі до чагарникових угруповань класів *Rhamno-Prunetea* та *Robinietaea*. Тут показники багаторічного режиму зволоження коливаються від 11,19 бала до 12,38 бала, загального сольового режиму від 6,44 бала до 7,19 бала, вмісту доступного нітрогену від 5,61 бала до 6,75 бала (Хом'як, 2022).

Водні та прибережно-водні оселища мають невеликі площі та глибину із значним її коливанням. Вони сформовані переважно через гідротехнічні процедури в районі кар'єру. Флора бідна і представлена кількома видами. Проективне покриття рослинності дуже низьке. Їх можна розділити на дві групи: прибережні злаковники (шувари) та прибережні ліси і чагарники. До першої групи входять угруповання вищих судинних рослин класу *Phragmiti-Magnocaricetea*, а до другої – *Salicetea purpurea*. Ці екосистеми є найбільш вразливими щодо зміни обсягів та якості води, в тому числі під час скидання зворотних вод у водойми.

Шувари представлені асоціаціями *Phragmitetum australis* та *Typhetum angustifoliae*. Основні види це *Phragmites australis* та *Typha angustifolia*. Їхні показники багаторічного режиму зволоження коливаються від 13,50 бала до 19,0 бала, загального сольового режиму від 7,17 бала до 9,71 бала, вмісту доступного нітрогену від 5,61 бала до 8,0 бала. Це відповідає типовим

евтрофним болотам або прибережно-водним угрупованням.

Прибережні ділянки на пізніх стадіях автогенної сукцесії зайняті вербово-осиковими чагарниками. Тут домінують верба ламка (*Salix fragilis*) та верба козяча (*Salix caprea*). Це асоціація *Salici-Populetum*. В районі планової діяльності такі угруповання не вважаються раритетними через те що не повністю відповідають критеріям резолюції Бернської конвенції. Однак за його межами, на берегах річок Каолінова та Гнилоп'ять вони відповідатимуть оселищу «Прибережні вербові ліси» (G1.11. Riverine *Salix* woodland). Показники багаторічного режиму зволоження цієї екосистеми коливаються від 11,52 бала до 12,56 бала, загального сольового режиму від 6,79 бала до 7,63 бала, вмісту доступного нітрогену від 5,68 бала до 7,27 бала. Такі низькі показники багаторічного режиму зволоження наближають ці екосистеми більше до

похідних лісів класу *Robinietaea*, ніж до прирічкових вербових лісів та чагарників. Це вказує на їхній екотонний статус. Отже, підвищення рівня зволоження буде сприятливим для угруповань такого типу.

За результатами аналізу хімічного складу зворотної води в місці скиду та за 500 метрів від нього встановлено, що усі показники відповідають визначеним нормам (табл. 1). Разом і з тим, у половині проб помітно нижчий рівень амонійного нітрогену (грудень 2019, березень 2020 та серпень 2020). Також, у грудні 2020 року було відмічено нижчий рівень хлоридів. У решті вимірів показники вмісту вищезгаданих речовин у зворотних водах дещо вищі. Це забезпечує стабільне існування евтрофних прибережних трав'яних заростей. Разом із тим, підняття рівня води стабілізує раритетне оселища із асоціацією *Salici-Populetum* (код резолюція Бернської конвенції G1.11.)

Таблиця 1.

Аналіз показників вмісту доступного нітрогену та частини загального сольового режиму в річці Каолінова за 2019-2020 роки

Місяць і рік взяття проб	Місце взяття проб	Вміст доступного рослинам нітрогену (NT)		Загальний сольовий режим (SL)	
		Нітроген амонійний (мг/дм <sup>3</sup> )	Нітрати (мг/дм <sup>3</sup> )	Хлориди (мг/дм <sup>3</sup> )	Сульфати (мг/дм <sup>3</sup> )
Червень 2019	Скид №2	0,37	2,6	61,1	71,7
	За 500 м від скиду	0,32	1,58	44	55,1
Жовтень 2019	Скид №2	0,35	2,95	56,8	64,6
	За 500 м від скиду	0,31	1,75	28,4	55,1
Грудень 2019	Скид №2	0,26	2,41	35,5	28,6
	За 500 м від скиду	0,38	2,15	46,9	54,8
Березень 2020	Скид №2	0,29	2,74	54	52,5
	За 500 м від скиду	0,33	2,2	46,9	51,2
Травень 2020	Скид №2	0,35	2,14	61,6	74,4
	За 500 м від скиду	0,31	1,72	43,5	56,9
Серпень 2020	Скид №2	0,29	2,71	5,4	5,25
	За 500 м від скиду	0,33	2,2	46,9	51,2



За показниками динаміки прибережно-водні екосистеми класу Phragmiti-Magnocaricetea знаходяться на перехідній стадії між трав'яними та трав'яно-чагарниковими екосистемами. Показник природної динаміки для них коливається від  $ST=3,75$  бала до  $ST=5,71$  бала за середнього значення  $ST=4,56$  бала. Це є типова картина для природного відновлення прибережно-водних екосистем такого типу в результаті автогенної сукцесії (Тимченко і Хом'як, 2019). Водночас, показники антропогенної трансформації досить низькі – від  $HE=6,22$  бала до  $HE=7,03$  бала за середнього значення  $HE=6,63$  бала (Хом'як, 2018). Ці величини відповідають низькому антропогенному впливу на узбережжя річок у межах населених пунктів (еугемеробії). Прибережні зарості верб класу Salicetea purpurea мають вищі середні значення природного показника динаміки та рівня антропогенної трансформації –  $ST=7,12$  та  $HE=8,82$ . Це відповідає еугемеробним екосистемам похідних лісів на ранніх стадіях формування деревної рослинності. Підняття рівня води за рахунок скиду зворотних вод сприятиме оприродненню прибережних оселищ.

#### Висновки

Територія Жежелівського родовища гранітів – це типовий антропогенний ландшафт із високим рівнем антропогенної трансформації, великою часткою перелогів та чагарників. Біота досліджуваної території складається із тривіальної,

часто синантропної, флори та фауни. Вони представлені поширеними для цього району зональними видами.

Рослинність досліджуваної території належить до 11 класів, 12 порядків, 14 союзів та 18 асоціацій за класифікацією Браун-Бланке. На території родовища не виявлено оселищ, видів флори та фауни, які віднесені до Червоної книги України, Зеленої книги України, додатків до резолюцій Бернської конвенції.

Під дію впливу скидів зворотних вод потрапляють прибережні екосистеми із автотрофними блоками у вигляді класів рослинності Phragmiti-Magnocaricetea та Salicetea purpurea. Скидання зворотних вод із Жежелівського кар'єру стабілізує існування евтрофних прибережних оселищ із асоціаціями рослинності Phragmitetum australis та Typhetum angustifoliae. Також, за рахунок підвищення багаторічного режиму зволоження в прибережних ділянках покращується стан асоціації Salici-Populetum, яка на березі річок за межами зони планової діяльності може набувати статусу раритетного оселища (G1.11. Riverine Salix woodland).

За показниками природної динаміки та рівня антропогенної трансформації прибережні оселища є еугемеробними екосистемами на стадії переходу від трав'яної до деревно-чагарникової стадії автогенної сукцесії. Підняття рівня води за рахунок скиду зворотних вод сприятиме їхньому відновленню та поверненню до менш трансформованого стану.

#### Список використаних джерел

- Дідух Я.П., Плюта П.Г. Фітоіндикація екологічних факторів. Київ, 1994. 280 с.
- Дідух Я.П., Хом'як І.В. Оцінка енергетичного потенціалу екотопів залежно від ступеня їх гемеробії на прикладі Словечансько-Овруцького кряжу. *Укр. ботан. журн.* 2007. №1. С. 235–243.
- Дубина Д.В., Устименко П.М. Антропогенна трансформація та оцінка збалансованості площ рослинності верхнього басейну р. Тиси. *Чорноморськ. бот. журн.* 2008. Т.4. №1. С. 14–25.
- Категорії та критерії червоного списку МСОП: Версія 3.1. 2-ге вид. Пер. з англ. Київ, 2017. 36 с.

Продромус рослинності України / Д. В. Дубина та ін. Київ: Наукова думка, 2019. 784 с.

Тимченко А. Ю., Хом'як І. В. Автогенні сукцесії в екосистемах гірничих виробок в долині річки Гуйва. Біологічні дослідження – 2019: збірник наукових праць. Житомир: «Полісся», 2019. С. 353–354.

Хом'як І.В. Екосистемологія: навчальний посібник. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2022. 235 с.

Хом'як І.В. Особливості антропогенного впливу на природну динаміку екосистем Українського Полісся. *Екологічні науки*. 2018. №1 (20), т. 2. С. 69–73.

Хом'як І.В., Василенко О.М., Гарбар Д.А., Андрійчук Т.В., Костюк В.С., Власенко Р.П., Шпаковська Л.В., Демчук Н.С., Гарбар О.В., Онищук І.П., Коцюба І.Ю. Методологічні підходи до створення інтегрованого синфітоіндикаційного показника антропогенної трансформації. *Екологічні науки*. 2020. № 5 (32), т. 1. С. 136–141.

Хом'як І.В., Гарбар Д.А., Андрійчук Т.В., Костюк В.С., Власенко Р.П. Динаміка відновлюваної рослинності піщаних кар'єрів Житомирського Полісся. *Екологічні науки*. 2021. № 6 (39). С. 204–207.

Хом'як І.В., Зарічна М.С., Демчук Н.С., Костюк В.С., Василенко О.М., Власенко Р.П., Гарбар Д.А. Вплив зарегулювання течії на динаміку екосистем річки Лісна (Житомирська область). *Екологічні науки*. 2021. № 2(35). С. 45–48.

Хом'як І.В., Козин М.С., Коцюба І.Ю., Василенко О.М., Власенко Р.П. Обґрунтування необхідності охорони витоків малих річок на прикладі Словечансько-Овруцького кряжу. *Екологічні науки*. 2022. № 1 (40). С. 28–32.

Хом'як І.В. Синтаксономія відновлюваної рослинності кар'єрів Центрального Полісся. *Український ботанічний журнал*. 2022. №79 (3). С.142–153.

Червона книга України. Рослинний світ / за ред. Я.П. Дідуха. К.: Глобалконсалтинг, 2009. 900 с.

Alpatova O., Maksymenko I., Patseva I., Khomiak I., Gandziura V. Hydrochemical state of the post-military operations water ecosystems of the Moschun, Kyiv region. *XVI International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment"*, Kyiv, 15–18 November 2022. Kyiv, 2022.

Bischel H.N., Lawrence J.E., Halaburka B.J., Plumlee M.H., Bawazir A.S., King J.P., McCray J.E., Resh V.H., Luthy R.G. Renewing Urban Streams with Recycled Water for Streamflow Augmentation: Hydrologic, Water Quality, and Ecosystem Services Management. *Environmental Engineering Science*. 2013. Vol. 30, № 8. P. 455–479.

Davies C. E., Moss D., Hill M. O. EUNIS Habitat Classification Revised. Report to the European Environment Agency, European Topic Centre on Nature Protection and Biodiversity. Paris, 2004. 310 p.

Edward R. Jones, Michelle T. H. van Vliet, Manzoor Qadir, and Marc F. P. Bierkens. Country-level and gridded estimates of wastewater production, collection, treatment and reuse. *Earth System Science Data*. 2021. Vol.13, № 2. P. 237–254.

Helgeson T. A Reconnaissance-Level Quantitative Comparison of Reclaimed Water, Surface Water, and Groundwater. Alexandria, VA: WateReuse Research Foundation, 2009. 141 p.

Hennekens S. Turboveg for Windows. 1998–2007. Version 2. Wageningen: Inst. voor Bos en Natuur, 2009. 84 p.

Khomiak Ivan, Harbar Oleksandr, Demchuk Nataliia, Kotsiuba Iryna and Onyshchuk Iryna Above-ground phytomas dynamics in autogenic succession of an ecosystem. *Forestry ideas*. 2019. Vol. 25, № 1 (57). P. 136–146.

Lopes Ana Rita, Becerra-Castro Cristina, Vaz-Moreira Ivone, Silva M. Elisabete F., Nunes Olga C., Manaia Célia M. Irrigation with Treated Wastewater: Potential Impacts on Microbial Function and Diversity in Agricultural Soils. *Wastewater Reuse and Current Challenges*. The Handbook of Environmental Chemistry. 2015. Vol. 44. Springer. pp. 105–128.

Ofori S., Puškáčová A., Růžičková I., Wanner J. Treated wastewater reuse for irrigation: Pros and cons. *Science of the Total Environment*. 2021. 760: 144026.

Tow Emily W., Hartman Anna Letcher, Jaworowski Aleksander, Zucker Ines, Kum Soyoon, AzadiAghdam Mojtaba, Blatchley Ernest R., Achilli Andrea, Gu Han, Urper Gulsum Melike, Warsinger David M. Modeling the energy consumption of potable water reuse schemes. *Water Research X. Elsevier BV*. 2021. 13: 100126.

Voulvoulis N. Water reuse from a circular economy perspective and potential risks from an unregulated approach. *Current Opinion in Environmental Science & Health*. 2018. Vol. 2. P. 32–45.

Westhoff V, Maarel E. van der. The Braun-Blanquet approach. *Handbook of Vegetation Science*. Part V: Ordination and Classification of Vegetation / Ed. By R.H. Whittaker. The Hague, 1973. P. 619–726.

Wolters Erika Allen, Steel Brent S., Siddiqi Muhammed Usman Amin, Symmes Melissa. Public Water Policy Knowledge and Policy Preferences in the American West. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022. 19 (5). P. 27–42.

Zhang S.X., Babovic V. A real options approach to the design and architecture of water supply systems using innovative water technologies under uncertainty. *Journal of Hydroinformatics*. 2012. 14 (1). P. 13–29.

#### References (translated & transliterated)

Didukh, Ya.P., Pliuta, P.H. (1994). Fitoindykatsiia ekolohichnykh faktoriv [Phytoindication of environmental factors]. Kyiv [in Ukrainian].

Didukh, Ya.P., Khomiak, I.V. (2007). Otsinka enerhetychnoho potentsialu ekotopiv zalezno vid stupenia yikh hemerobii na prykladi Slovechansko-Ovrutskoho kriazhu [Evaluation of the energy potential of ecotopes depending on the degree of their hemeroby on the example of the Slovechansk-Ovruch ridge]. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal* [Ukrainian botanical journal], №1, 235–243. [in Ukrainian].

Dubyna, D.V., Ustymenko, P.M. (2008). Antropohenna transformatsiia ta otsinka zbalansovanosti ploshch roslynosti verkhnoho baseinu r. Tysy [Anthropogenic transformation and assessment of the balance of vegetation areas of the upper basin of the Tysa River]. *Chornomorskyi botanichnyi zhurnal* [Chornomorski botanical journal], 4 (1), 14–25. [in Ukrainian].

Dubyna, D. V. ta in. (2019). Prodromus roslynosti Ukrainy [Prodromus vegetation of Ukraine]. Kyiv: Naukova dumka [in Ukrainian].

Katehorii ta kryterii chervonoho spysku MSOP: Versiia 3.1. (2017). [IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1.]. Kyiv [in Ukrainian].

Tymchenko, A. Yu., Khomiak, I. V. (2019). Avtoheni suksesii v ekosystemakh hirnychkyh vyrobok v dolyni richky Huiva [Autogenic successions in ecosystems of mine workings in the valley of the Guiva River]// *Biologichni doslidzhennia – 2019: zbirnyk naukovykh prats. Zhytomyr: «Polissia»* [Biological research - 2019: collection of scientific works. Zhytomyr: "Polyssia"], 2019, 353–354. [in Ukrainian].

Khomiak, I.V. (2022). Ekosystemolohiia: navchalnyi posibnyk [Ecosystemology: a study guide]. Zhytomyr: Vyd-vo ZhDU im. I. Franka. [in Ukrainian].

Khomiak, I.V. (2018). Osoblyvosti antropohennoho vplyvu na pryrodnu dynamiku ekosystem Ukrainskoho Polissia [Peculiarities of anthropogenic influence on the natural dynamics of ecosystems of the Ukrainian Polissia]. *Ekolohichni nauky* [Ecological sciences], 1(20), 2, 69–73. [in Ukrainian].

Khomiak, I.V., Vasylenko, O.M., Harbar, D.A., Andriichuk, T.V., Kostiuk, V.S., Vlasenko, R.P., Shpakovska, L.V., Demchuk, N.S., Harbar, O.V., Onyshchuk, I.P., Kotsiuba, I.Iu. (2020). Metodolohichni pidkhody do stvorennia intehrovanoho synfitoindykatsiinoho pokaznyka antropohennoi transformatsii [Methodological approaches to the creation of an integrated synphyto-indicative indicator of

anthropogenic transformation.]. *Ekolohichni nauky* [Ecological sciences], 5(32), 1, 136–141. [in Ukrainian].

Khomiak, I.V., Harbar, D.A., Andriichuk, T.V., Kostiuk, V.S., Vlasenko, R.P. (2021). Dynamika vidnovliuvanoi roslynnosti pishchanykh karieriv Zhytomyrskoho Polissia [Dynamics of regenerating vegetation in sand quarries of Zhytomyr Polissia]. *Ekolohichni nauky* [Ecological sciences], 6(39), 204–207. [in Ukrainian].

Khomiak, I.V., Zarichna, M.S., Demchuk, N.S., Kostiuk, V.S., Vasylenko, O.M., Vlasenko, R.P., Harbar, D.A. (2021). Vplyv zarehulivannia techie na dynamiku ekosystem richky Lisna (Zhytomyrska oblast) [The influence of flow regulation on the dynamics of ecosystems of the Lisna River (Zhytomyr region)]. *Ekolohichni nauky* [Ecological sciences], 2(35), 45–48. [in Ukrainian].

Khomiak, I.V., Kozyn, M.S., Kotsiuba, I.Iu., Vasylenko, O.M., Vlasenko, R.P. (2022). Obgruntuvannia neobkhidnosti okhorony vytokiv malykh richok na prykladi Slovechansko-Ovrutskoho kriazhu [Justification of the need to protect the sources of small rivers on the example of the Slovak-Ovrutsky ridge]. *Ekolohichni nauky* [Ecological sciences], 1(40), 28–32. [in Ukrainian].

Khomiak, I.V. (2022). Syntaksonomiia vidnovliuvanoi roslynnosti karieriv Tsentralnogo Polissia [Syntaxonomy of the regenerating vegetation of the quarries of the Central Polissia]. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal* [Ukrainian botanical journal], 79(3), 142–153. [in Ukrainian].

Chervona knyha Ukrainy. Roslynni svit (2009). [Red Book of Ukraine. Plant world]. K.: Hlobalkonsaltnh. [in Ukrainian].

Alpatova, O., Maksymenko, I., Patseva, I., Khomiak, I., Gandziura, V. (2022). Hydrochemical state of the post-military operations water ecosystems of the Moschun, Kyiv region. *XVI International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”*, Kyiv, 15–18 November 2022. [in English].

Bischel, H.N., Lawrence, J.E., Halaburka, B.J., Plumlee, M.H., Bawazir, A.S., King, J.P., McCray, J.E., Resh, V.H., Luthy, R.G. (2013). Renewing Urban Streams with Recycled Water for Streamflow Augmentation: Hydrologic, Water Quality, and Ecosystem Services Management. *Environmental Engineering Science*, 30(8), 455–479. [in English].

Davies, C. E., Moss, D., Hill, M. O. (2004). EUNIS Habitat Classification Revised. Report to the European Environment Agency, European Topic Centre on Nature Protection and Biodiversity. Paris. [in English].

Edward, R. Jones, Michelle, T. H. van Vliet, Manzoor Qadir, and Marc F. P. (2021). Bierkens. Country-level and gridded estimates of wastewater production, collection, treatment and reuse. *Earth System Science Data*, 13(2), 237–254. [in English].

Helgeson, T. A. (2009). Reconnaissance-Level Quantitative Comparison of Reclaimed Water, Surface Water, and Groundwater. Alexandria, VA: WateReuse Research Foundation, 141.

Hennekens, S. (2009). Turboveg for Windows. 1998–2007. Version 2. Wageningen: Inst. voor Bos en Natuur. [in English].

Khomiak, Ivan, Harbar Oleksandr, Demchuk, Nataliia, Kotsiuba, Iryna and Onyshchuk, Iryna. (2019). Above-ground phytomas dynamics in autogenic succession of an ecosystem. *Forestry ideas*, 25(1), (57), 136–146. [in English].

Lopes, Ana Rita, Becerra-Castro, Cristina, Vaz-Moreira, Ivone, Silva, M. Elisabete, F., Nunes, Olga C., Manaia, Céilia M. (2015). Irrigation with Treated Wastewater: Potential Impacts on Microbial Function and Diversity in Agricultural Soils. *Wastewater Reuse and Current Challenges*. The Handbook of Environmental Chemistry, 44. Springer, 105–128. [in English].

Ofori, S., Puškáčová, A., Růžičková, I., Wanner, J. (2021). Treated wastewater reuse for irrigation: Pros and cons. *Science of the Total Environment*, 760: 144026. [in English].

Tow, Emily W., Hartman, Anna Letcher, Jaworowski, Aleksander, Zucker, Ines, Kum, Soyoon, AzadiAghdam, Mojtaba, Blatchley, Ernest R., Achilli, Andrea, Gu, Han,

Urper, Gulsum Melike, Warsinger, David M. (2021). Modeling the energy consumption of potable water reuse schemes. *Water Research X. Elsevier BV.*, 13: 100126. [in English].

Voulvoulis, N. (2018). Water reuse from a circular economy perspective and potential risks from an unregulated approach. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 2, 32–45. [in English].

Westhoff, V, Maarel, E. van der. (1973). The Braun-Blanquet approach. *Handbook of Vegetation Science. Part V: Ordination and Classification of Vegetation*, 619–726. [in English].

Wolters, Erika Allen, Steel, Brent S., Siddiqi, Muhammed Usman Amin, Symmes, Melissa. (2022). Public Water Policy Knowledge and Policy Preferences in the American West. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(5), 27–42. [in English].

Zhang, S. X., Babovic, V. (2012). A real options approach to the design and architecture of water supply systems using innovative water technologies under uncertainty. *Journal of Hydroinformatics*, 14(1), 13–29. [in English].

Отримано: 27 жовтня 2022  
Прийнято: 9 листопада 2022



УДК: 581.5

DOI 10.35433/naturaljournal.2.2023.69-84

## МУЛЬТИДИСЦИПЛІНАРНИЙ ПІДХІД ДО ПРОБЛЕМИ ОХОРОНИ МАЛИХ РІЧОК ЖИТОМИРСЬКОГО ПОЛІССЯ

М. М. Семенюк<sup>1</sup>, Н. С. Демчук<sup>2</sup>, М. С. Козин<sup>3</sup>

*Стаття присвячена дослідженню комплексу проблем збереження малих річок. Розглядаються три основні аспекти впливу на довкілля пов'язаних із ними: порушення водного балансу, зниження якості води та зменшення біотичного і ландшафтного різноманіття в долині річки. Метою дослідження є характеристика основних типів впливу людини на малі річки Житомирського Полісся. Для досягнення мети були поставлені такі завдання: визначити основні типи антропогенного впливу на малі річки Житомирського Полісся, встановити прями та опосередковані наслідки визначених типів антропогенного впливу на малі річки Житомирського Полісся, розробити пропозиції щодо алгоритмів вирішення проблем малих річок Житомирського Полісся.*

*Стаття побудована на матеріалах обстеження екосистемної структури малих річок Житомирського Полісся та його південних околиць. Наведено приклади щодо плану збереження території водозбору природного джерела «Гудюча криниця» та ділянки річки Уж в середмісті міста Коростень. За результатами обстеження стану малих річок їхні основні проблеми було зведено в чотири групи: низький та нестійкий дебіт води, евтрофікація та замулення, зарегулювання течії, деградація ландшафтів річкових долин. Низьке наповнення річок водою та її несталій рівень, обумовлені специфікою змін клімату, природними механізмами акумуляції, розподілу та стоку води, активністю природних джерел. Проблеми малих річок могли б послабити природні запобіжники: болотно-лісові комплекси та природні джерела біля витоків річок, висока частка лісових екосистем верхньої частини річкового басейну, збереження заплавлених лісів першої заплавної тераси верхньої течії і природних прируслових лісів й заплавлених лук нижньої течії, а також цілісність природного рослинного покриву більшої частини річкової долини. Для стабілізації подачі води від природних джерел до річки території їхнього водозбору мають бути перетворені на об'єкти природно-заповідного фонду. Коли джерело знаходиться в межах населеного пункту, то доцільно надавати йому статус пам'ятки природи місцевого значення, а коли за його межами – гідрологічного заказника.*

**Ключові слова:** природні джерела, річки, гідрологічні заказники, оселища.

<sup>1</sup> заступник начальника  
Управління екології та природних ресурсів  
(Житомирська обласна державна адміністрація)  
e-mail: semenikmm@ukr.net

<sup>2</sup> кандидат біологічних наук,  
старший викладач кафедри екології та географії  
(Житомирський державний університет імені Івана Франка)  
e-mail: demchuk.nataliia.st@gmail.com  
ORCID 0000-0003-4483-4229

<sup>3</sup> магістрант кафедри екології та географії  
(Житомирський державний університет імені Івана Франка)  
e-mail: marija.kozin1@gmail.com

## MULTIDISCIPLINARY APPROACH TO THE PROBLEM OF SMALL RIVERS PROTECTION IN ZHYTOMYR POLISSYA

M. M. Semeniuk, N. S. Demchuk, M. S. Kozyn

*The article is devoted to the study of the complex problems of the preservation of small rivers. Three main aspects of the environmental impact associated with them are considered: disruption of the water balance, reduction of water quality, and reduction of biotic and landscape diversity in the river valley. The study aims to characterize the main types of human impact on the small rivers of Zhytomyr Polissia. To achieve the goal, the following tasks were set: determine the main types of anthropogenic impact on small rivers of Zhytomyr Polissia; to determine the direct and indirect consequences of certain types of anthropogenic impact on small rivers of Zhytomyr Polissia; develop proposals for algorithms for solving the problems of small rivers of Zhytomyr Polissia.*

*The article is based on the materials of the survey of the ecosystem structure of small rivers of Zhytomyr Polissia and its southern outskirts. Examples of the conservation plan for the catchment area of the «Gudyucha krynytsia» natural spring and the section of the Uzh River in the city center of Korosten are given. According to the results of the survey of the state of small rivers, we will summarize their main problems into three groups: low and unstable water flow, eutrophication and siltation, and degradation of river valley landscapes. The low filling of rivers with water and its unstable level is caused by the specifics of climate changes, natural mechanisms of water accumulation, distribution, and flow, and the activity of natural sources. Natural safeguards could weaken the problems of small rivers: swamp-forest complexes and natural springs near the sources of rivers, a high share of forest ecosystems of the upper part of the river basin, preservation of floodplain forests of the first floodplain terrace of the upper reaches and natural riparian forests and floodplain meadows of the lower reaches, as well as the integrity of the natural vegetation cover of most of the river valley. In order to stabilize the supply of water from natural sources to the river, the territories of their catchment should be transformed into objects of the nature reserve fund. When the spring is located within the boundaries of the settlement, it is advisable to grant it the status of a natural monument of local importance. When it is outside its borders, it should be given the status of a hydrological reserve.*

**Keywords:** natural springs, rivers, hydrological reserves, habitats.

### Вступ

Серед багатьох глобальних проблем довкілля, визначених людством, ми не знайдемо рядків, присвячених малим річкам (Дідух, 2014). Більше говорять про зміни клімату, забруднення водойм та зниження біорізноманіття. Однак, заглиблюючись в аналіз функціонування біосфери, ми бачимо, що саме малі річки пов'язані із усіма вищезазначеними проблемами.

На території Полісся усі ці проблеми зв'язані найбільш виразно і чітко (Божинська & Хом'як, 2021). Навколо них зосереджуються негативні впливи глобальних змін клімату, що спричиняють ксерофітизацію Полісся, забруднення водойм, пов'язане із зниженням дебету води, яка поступає в річки та деградація навколишніх екосистем, що тягне за собою

порушення ландшафтного та біотичного різноманіття (Білявська & Хом'як, 2020). По перше, річки здійснюють водорегуляцію, яка зменшує інтенсивність випаровування та зменшує негативний вплив на глобальне потепління. По друге, вони забезпечують громади та водну біоту прісною водою і середовищем існування. По третє, в долинах річок формуються раритетні важливі для усього біому екосистеми. Опосередковано річки впливають на мезоклімат регіону, що стабілізує існування інших екосистем, родючість сільськогосподарських угідь та комфортні умови для проживання населення (Макарчук & Хом'як, 2021, 2022). Це, в свою чергу, дозволяє витратити менше енергетичних та фінансових ресурсів на функціонування громад (економія

опалення, кондиціонування, збереження дорожнього покриття, полив та інші форми підвищення врожайності).

Разом з тим, людські спільноти напряму пов'язані із функціонуванням малих річок. При цьому, вони здавна трансформували їхні долини. Людина селилася вдовж річок ще з часів виникнення першого представника роду людини вмілої (*Homo habilis*). Річки ставали основними транспортними артеріями аж до періоду індустріалізації (Шапран & Хом'як, 2021). Крім того, вони забезпечували громади питною і технічною водою, їжею, а згодом і енергією (Хом'як & Шевчик, 2016). Однак, активна експлуатація ландшафтів, пов'язаних із річками, не лише призвела до погіршення їх як джерела необхідних ресурсів, а й викликала ланцюги інших негативних явищ в довкіллі (Дубина & Устименко, 2008).

На сьогодні, актуальним завданням екологів теоретиків і практиків є дослідження основних впливів людини на річки, наслідків цих впливів та пошук шляхів покращення екологічної ситуації.

Метою дослідження є характеристика основних типів впливу людини на малі річки Житомирського Полісся.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання: визначити основні типи антропогенного впливу на малі річки Житомирського Полісся; встановити прямі та опосередковані наслідки визначених типів антропогенного впливу на малі річки Житомирського Полісся; розробити пропозиції щодо алгоритмів вирішення проблем малих річок Житомирського Полісся.

### **Матеріал і методи**

Матеріалами дослідження є стандартні геоботанічні описи, які зберігаються в Лабораторії «Теорії екосистем» Житомирського державного університету імені Івана Франка. Описи зроблені на території

Житомирського Полісся та його південних околицях в період із 2004 по 2022 роки (Шкилюк & Хом'як, 2017). Дослідження проводилися за стандартними польовими (маршрутно-експедиційними та стаціонарними) і камеральними методами. Рослинні угруповання класифікувалися через обробку стандартних геоботанічних описів за допомогою програми TURBOVEG for Windows (Hennekens, 2009; Дідух, 2012). Оселища визначалися за їхніми автотрофними блоками за класифікацією Браун-Бланке (Westhoff & Maarel, 1973) згідно із Національним каталогом біотопів України (Дубина та ін., 2019; Davies & Moss, 2004).

До переліку раритетних біосистем відносимо ті, що занесені до міжнародних (за умови ратифікації Україною певних міжнародних зобов'язань), національних та регіональних охоронних списків (Категорії..., 2017). До переліків раритетних біосистем міжнародного значення належать Червоний список МСОП, Європейський Червоний список, додатки та резолюції Бернської конвенції, до національних – Червона книга України (в останній редакції згідно із наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України №111 від 15 лютого 2021 року) та Зелена книга України (згідно із постановою Кабінету Міністрів України від 29 серпня 2002 р. N 1286). Регіональним списком раритетних видів є перелік регіонально рідкісних видів затверджений рішенням Житомирської обласної ради від № 1162 від 08.09.2010 та № 1460 від 19.03.15 (Червона книга..., 2009).

### **Результати**

За результатами обстеження стану малих річок ми можемо виокремити кілька основних проблем (Шевчик & Хом'як, 2017; Підкаура & Хом'як, 2021; Саргеліс та ін., 2019; Тимченко & Хом'як, 2019). Їх можна звести в три основні групи: низький та нестійкий дебіт води, евтрофікація та



замулення, деградація ландшафтів річкових долин.

Проблеми низького дебету обумовлені специфікою змін клімату, природними механізмами акумуляції, розподілу та стоку води, активністю природних джерел (Козин & Хом'як, 2021). Сучасні зміни клімату дуже умовно можна називати «глобальним потеплінням». Так, світова температура тропосфери росте, але не вона завдає найбільшої шкоди. Зростання температури підвищує випаровування, руйнує сніговий покрив, розтоплює льодовики. Усе це прискорює кругообіг води в природі, збільшуючи її присутність в атмосфері. Оскільки водяна пара є досить сильним парниковим газом, то ми маємо замкнене коло – потепління збільшує кількість пари, а кількість пари збільшує потепління. Посилює проблему нерівномірність випадання опадів. Тобто замість помірного розподілу кількості вологи, що падає на поверхню землі, ми маємо посушливі сезони і катастрофічні зливи. Таким чином вода руйнує ґрунтовий покрив, посилюючи замулення та евтрофікацію, не встигає наситити ґрунтові нижні горизонти та забезпечити стійкий рівень води в річках. Ці катастрофічні явища могли б послабити природні запобіжники, більшість яких зруйновано або деградовано (Гринковська & Хом'як, 2020). Мова йде про болотно-лісові комплекси та природні джерела біля витоків річок, висока частка лісових екосистем верхньої частини річкового басейну, збереження заплавлених лісів першої заплавної тераси верхньої течії і природних прируслових лісів й заплавлених лук нижньої течії, а також цілісності природного рослинного покриву більшої частини річкової долини.

Значну роль в рівномірному та якісному наповненні річок водою відіграють природні джерела. Саме вони разом із болотами їхнього верхів'я додають річці воду найвищої якості (Микуліна & Хом'як, 2021). Адже, та

вода, яка стікає поверхнею після дощів або із талим снігом, подається нерегулярно та несе в собі велику кількість мінеральних часточок, що спричиняють забруднення та евтрофікацію. Функціонування джерела та якість води в ньому залежить від трьох факторів – геологічної структури території, характеристики атмосферних опадів та природних комплексів території водозбору. Своїми прямими діями ми не зможемо вплинути на тонку геологічну структуру чи на особливості атмосферних опадів, однак ми можемо зберегти природні комплекси території водозбору. У зв'язку із цим більшість таких територій мають бути перетворені на об'єкти природно-заповідного фонду (Хом'як та ін., 2022). Коли джерело знаходиться в межах населеного пункту, то доцільно надавати йому статус пам'ятки природи місцевого значення, а коли за його межами – гідрологічного заказника.

Візьмемо для прикладу джерело «Гудюча криниця» розташоване на землях Овруцької міської об'єднаної територіальної громади. Представниками місцевої громади за підтримки волонтерської групи «Хранителі Полісся», Житомирського державного університету імені Івана Франка та проекту «Полісся – дика природа без кордонів» було висловлено ідею про створення на території його водозбору об'єкту природно-заповідного фонду. Проектований гідрологічний заказник місцевого значення «Гудюча криниця» знаходиться в межах Овруцької міської об'єднаної територіальної громади (раніше територія Овруцького району) Житомирської області за 2 км на північ від села Покалів. Заказник розташований в верхній частині лівої притоки річки Полохачівки. Загальна площа проєктованого Заказника становить близько 20 га.

Територія розташована на північних геологічних структурах Українського кристалічного щита.

Геоморфологічною основою є Овруцький грабен, всі породи відносяться до Овруцької вулканогенно-осадової серії і розділяються на дві світи: вулканогенну – збраньківську і осадову – толкачевську. Вулканогенно-осадові породи лежать на шарі габро-діабазів звиздаль-залеської дайки. В основі розрізу збраньківської світи залягають малопотужні кварцові піщаники, а також міндель-кам'яні базальти, діабазы. Над ними знаходяться чорні філітові сланці та буровато-сірі піщаники потужністю десь біля 10 м. Ще вище залягають ігнімбритові породи. Осадові породи – це мезокайнозойські відкладення (кварцито-піщаники з прошарками пірофілітових сланців). Ґрунти дерново-підзолисті супіщані слабо кам'янисті. На більшості території перезволожені із незначними торфовими відкладеннями.

Рельєф сформовано рухами блоків, які утворюють Овруцький грабен та ерозійними процесами. Це розщелина між підвищенням на півночі (урочище Бабина гора, 220 м. н.р.м.) та безіменним пагорбом між селами Нагоряни і Покалів (220 м. н.р.м.). Розщелина між блоками у вигляді долини шириною від 1 км на північному заході до 2 км на південному сході. Перепад висот в районі заказника коливається від 190 до 182 м. н.р.м (8 метрів). Експозиція переважно південна (до 10°), зрідка південно-східна (до 5°).

Центральним об'єктом Заказника є джерело «Гудюча криниця». Вода в ньому високої якості, приємна на смак, без специфічного запаху чи присмаку, прозора. Дебіт біля 0,8 м<sup>3</sup>/год. Територія водозбору 5 км<sup>2</sup> в межах вищеописаної долини. Із джерела починається безіменне джерело, яке є лівою притокою річки Полохачівки. На шляху струмка побудована гребля та сформовано ставок, який відіграє роль протипожежної водойми. Річка Полохачівка починається на південній

околиці села Оленичі, протікає територією кряжу 3 км і впадає в річку Звонка в селі Девошин.

Оселища належать до трьох типів: лісова, лучна та прибережна. Нами було описано рослинні угруповання, які належать до 13 класів, 16 порядків, 20 союзів, 26 асоціацій та одного безрангового угруповання відповідного рівня. Синтаксономічна схема рослинності має такий вигляд:

*Potamogetea* Klika in Klika et Novak 1941: *Potamogetalia* Koch 1926: *Nymphaeion albae* Oberd 1957: *Numpharo lutei-Nymphaetum albae* Tomasz 1977, *Potameto-Nupharetum lutei* Mull. et Gors 1960, *Potamogion* Libberd 1931: *Potametum natantis* Hild 1959.

*Phragmiti-Magnocaricetea* Klika in Klika et Novak 1941: *Phragmitetalia* Koch 1926: *Phragmition* Koch 1926: *Phragmitetum australis* Savič 1926, *Glycerietum maximae* Nowiński 1930 corr. Šumberová, Chytrý et Danihelka in Chytrý 2011.

*Oxycocco-Sphagnetea* Br.-Bl. et Tüxen ex Westhoff et Paschier 1946: *Sphagnetalia medii* Kästner & Flössner 1933: *Sphagnion medii* Kästner and Flössner 1933: *Ledo-Pinetum* R.Tx 1925.

*Molinio-Arrhenatheretea* R.Tx 1937: *Galieta* veri Mirk. et Naum. 1986: *Agrostion vinealis* Sipaylova, Mirk., Shelyag et V.Sl. 1985: *Koelerio-Agrostietum vinealis* (Sipaylova et al. 1985) Shelyag et al. 1987, *Agrostio vinealis-Calamagrostietum epigeioris* (Shelyag et al., 1981) Shelyag, V.Sl. et Sipaylova 1985; *Arrhenatheretalia elatioris* Tüxen 1931: *Arrhenatherion elatioris* Luquet 1926: *Anthoxantho odorati-Agrostietum tenuis* Sillinger 1933; *Molinetalia* Koch. 1926: *Mentho longifoliae-Juncion inflexi* T. Müller et Görs ex de Foucault 2009: *Juncetum effusi* (Pauca, 1941) Soó 1947, *Junco effusi-Molinietum caeruleae* Tüxen 1954; *Calthion palustris* R.Tx 1937: *Scirpetum sylvatici* Ralski 1931.

*Calluno-Ulicetea* Br.-Bl. et Tüxen ex Klika et Hadač 1944: *Vaccinio myrtilli-Genistetalia pilosae* Schubert ex Passarge 1964: *Calluno-Genistion pilosae*

P. Duvigneaud 1945: com. *Calluna vulgaris*.

*Nardetea strictae* Rivas Goday et Borja Carbonell in Rivas Goday et Mayor López. 1966: *Nardetalia* Preis. 1950: *Violion caninae* Schwickerath 1944: *Calluno-Nardetum* Hrync 1959.

*Sedo-Scleranthetetea* Br.-Bl. 1955: *Alyso alyssoidis-Sedetalia albi* Moravec 1967: *Alyso alyssoidis-Sedion* Oberdorfer et Müller in Müller 1961: *Sedo acri-Dianthetum hypanicii* nova, *Sedo-Scleranthetalia* Br.-Bl. 1955: *Hyperico perforati-Scleranthion perennis* Moravec 1967: *Thymo pulegioidis-Sedetum sexangularis* Didukh et Kontar 1998.

*Epilobietea angustifolii* Tx. et Preising ex von Rochow 1951: *Galeopsio-Senecionetalia sylvatici* Passarge 1981: *Epilobion angustifolii* Oberd. 1957: *Rubio-Chamaenerietum angustifolii* Hadač et al. 1969, *Rubetum idaei* Gams 1927, *Calamagrostietum epigii* Juraszek 1928.

*Robinietae* Jurco ex Hadac et Sofron 1980: *Sambucetalia racemosae* Oberd. ex Doing 1962: *Sambuco-Salicion capreae* Tx. et Neum et Oberd. 1957: *Salicetum capreae* Schreier 1955.

*Vaccinio-Piceetea* Br.-Bl. in Br.-Bl. et al. 1939. *Pinetalia sylvestris* Oberdorfer 1957: *Dicrano-Pinion* (Libbert, 1933) Matuszkiewicz 1962: *Cladonio-Pinetum* Juraszek 1927, *Dicrano-Pinetum* Preising et Knapp ex Oberdorfer 1957, *Molinio-Pinetum* W. Mat et J. Mat 1973.

*Quercetea robori-petraeae* Br.-Bl. et Tüxen ex Oberdorfer 1957: *Quercetalia roboris* R. Tx 1931: *Pino-Quercion* Medw.-Korn. 1959: *Quercio roboris-Pinetum* (W. Mat., 1981) J. Mat. 1988; *Quercion robori-petraeae* Malcuit 1929: *Calamagrostio arundinacea-Quercetum petraea* (Hartmann, 1934) Scan et. Pass. 1959.

*Alnetea glutinosae* Br.-Bl. et Tüxen ex Westhoff, Dijk et al. 1946: *Alnetalia glutinosae* R. Tx 1937: *Alnion glutinosae* Malcuit 1929: *Sphagno squarrosi-Alnetum* Sol.-Gorn (1975) 1987.

*Franguletea* Doing ex Westhoff in Westhoff et Den Held 1969: *Salicetalia auritae* Doing 1962: *Salicion cinereae*

Th. Müll et Görs ex Pass 1961: *Salicetum pentandro-cinereae* Pass 1961, *Betulo-Salicetum repentis* Oberd. 1964.

Флора і фауна є типовою для вищеописаних фітоценозів. Угрупування фанерофітів представлені молодими лісами і чагарниками ближче до дна долини, де протікає струмок до перестиглих на північному заході Заказника.

Землі Заказника здебільшого належать «ДП Словечанський лісгосп». Це квартали 84 (в. 42-44, 48-53, 54 (частково), 55) і 87 (в. 2-4, 7, 10) Нагорянського лісництва. Західна і північно-західна частина протипожежного ставка належать Овруцькій ОМТГ.

Територія заказника характеризується високим фітоценотичним різноманіттям. Тут описано 13 класів, 16 порядків, 20 союзів та 26 асоціацій та одне безрангове угруповання відповідного рівня.

Із них до раритетних списків 4 резолюції Бернської конвенції належать: Зарості крупних осок переважно без застою води (D5.2 Beds of large sedges normally without freestanding water); Угрупування *Nardus stricta* (E1.71 *Nardus stricta* swards); Рівнинні та низькогірні сінокосні луки (E2.2 Low and medium altitude hay meadows); Мокрі або вологі евтрофні і мезотрофні луки (E3.4 Moist or wet eutropic and mesotrophic grassland); Сухі пустища (F4.2 Dry heaths); Прирічкові чагарники (F9.1 Riverine scrub); Заболочені вільхові ліси на некіислому торфі (G1.41 *Alnus* swamp woods not on acid peat), Ацидофільні ліси з домінуванням *Quercus* (G1.8 Acidophilous *Quercus* dominated woodland).

Серед раритетних видів слід відзначити одну із найбільших в Центральному Поліссі популяцій *Lycopodium annotinum* L. Серед рідкісних птахів спостерігається *Dryocopus martius* L. (Бернська конвенція та Директива ЄС про захист диких птахів).

### Обговорення

Природно-ресурсний потенціал території, запропонованої до заповідання та створення заповідника невисокий з позиції господарського використання. Територія має невелику цінність з точки зору сільського господарства. З позиції інтересів лісопромислового комплексу лісові масиви здебільшого малопривабливі через низький бонітет насаджень заболочених ділянок. Більшу цінність мають лише ділянки середньостиглого лісу, в безпосередній близькості до джерела та рекреаційної зони поруч із ним. Разом із тим територія має високий потенціал через надання екосистемних послуг. Центральним об'єктом заказника є криниця на одному із природних джерел. Вона має соціально-економічне значення як рекреаційний і сакральний об'єкт. Із нею пов'язано багато місцевих легенд та повір а також релігійних ритуалів.

До переліку видів діяльності, що пропонується заборонити або обмежити, входять:

- будівництво будівель та споруд, доріг, трубопроводів, ліній електропередач, проведення всіх видів земляних робіт, у тому числі і прокладка всіх видів інженерних комунікацій;
- видобування корисних копалин;
- використання звуковідтворювальної техніки та музичних інструментів;
- проведення всіх видів масових заходів (окрім біотехнічних заходів, прибирання території заказника та ін.), у тому числі спортивних та військово-спортивних (орієнтування на місцевості, воєнізовані ігри, пейнтбол та ін.);
- внесення в ґрунт мінеральних добрив;
- засмічення території побутовими та промисловими викидами та сміттям;
- інші види діяльності, що можуть призвести до порушення природних комплексів, втрати наукової та природоохоронної цінності охоронюваних на території комплексної пам'ятки природи природних об'єктів.

- оранка земель;
- полювання, розлякування, знищення, відлов (збір) тварин (на всіх стадіях розвитку), розорення та руйнування гнізд, нір і інших помешкань тварин а також порушення умов мешкання тварин;

- знищення охоронних знаків та інформаційних аншлагів;

- порушення ґрунтового покриву.

Разом із тим, рекомендовано використання території заказника в оздоровчих, рекреаційних та освітньо-виховних цілях.

Вищенаведене джерело є одним із сотень об'єктів, які розташовані на території Житомирського Полісся (Патрон і Хом'як, 2021). Наприклад під час обстеження частини Словечансько-Овруцького кряжу було виявлено 24 облаштованих природних джерела (табл. 1) (Хом'як, 2022).

Ще однією із вищеназваних проблем є збереження комплексу природних екосистем долин річок. Візьмемо для прикладу долину річки Уж в середмісті Коростеня. Територія представлена типовими для Полісся угрупованнями флори і рослинності. Серед видів рослин переважають *Lemna minor* L., *Salvinia natans* (L.) All., *Nuphar lutea* (L.) Smith, *Ceratophyllum demersum* L., *Elodea canadensis* Michx., *Phragmites australis* (Cav.) Trin., ex Steud., *Typha latifolia* L., *Glyceria maxima* (C., Hartm.) Holmb., *Iris pseudacorus* L., *Sparganium emersum* Rehm. та іншими. Рослини формують переважно такі угруповання: *Lemnetum minoris* Th.Müll. et Görs 1960, *Lemno minoris-Salvinietum natantis* (Slavnić 1956) Korneck 1959, *Numpharo lutei-Nymphaetum albae* Tomasz 1977, *Ceratophylletum demersi* Soó 1928, *Elodeetum canadensis* Eggler 1933, *Typhetum latifoliae* Soó 1928, *Phragmitetum australis* Schmale 1939, *Glycerietum maximae* Hueck 1931, *Scirpetum lacustris* (Allorge 1922) Chouard 1924, *Iridetum pseudocaori* Eggler 1933, *Sagitario-Sparganietum emersi* R.Tx 1953, *Sparganietum emersi* Roli 1938.

Таблиця 1.

Витяг із каталогу природних джерел Словечансько-Овруцького краю

№ з/п	Власна назва	Найближчий населений пункт (ОТГ), розпорядник землі	Координати	Сучасний стан, рекомендації щодо подальшої експлуатації
1		Гаєвичи (Овруцька МОТГ)	51.402952, 28.659966	Вода високої якості. Накриття відсутнє. Вимагає належного облаштування.
2	Плетена криниця	Полохачів (Овруцька МОТГ)	51.379463, 28.596421	Вода застоюється через коливання рівня і припинення стоку в другу половину літа. Накриття відсутнє. Вимагає належного облаштування.
3		Полохачів (Овруцька МОТГ)	51.375645, 28.602851	Вода помірної якості. Накриття та огорожа потребують незначного ремонту.
4	Гудюча криниця	Покалів (Овруцька МОТГ)	51.382617, 28.578018	Вода високої якості. Знаходиться в центрі рекреаційної зони.
5	Криниця в Шихові	Полохачів (Овруцька МОТГ)	51.2245857, 28.3547310	Вода високої якості. Має високий рівень благоустрою.
6		Дівошин (Овруцька МОТГ)	51.414339, 28.579483	Вода високої якості із специфічним кислуватим присмаком. Закрите джерело із окремим водовідведенням.
7	Матвіївська криниця	Покалів (Овруцька МОТГ)	51.365019, 28.571260	Вода високої якості. Має високий рівень благоустрою.
8	Малиновий мох	Покалів (Овруцька МОТГ)	51.386825, 28.531243	Вода надзвичайно високої якості. Має високий рівень благоустрою. Знаходиться на території де присутні види із ЧКУ та переважають оселища із резолюції 4 Бернської конвенції. Рекомендовано створення заказника «Малиновий Мох».
9		Стугівщина (Овруцька МОТГ)	51.383718, 28.487358	Вода високої якості. Має достатній рівень благоустрою. Місцезнаходження джерел незначне.
10	Криниця Радучького	Сорокопень (Словечанська СОТГ)	51.320543, 28.476421	Вода помірної якості. Має високий рівень благоустрою. Інтегрована в рекреаційну зону та екологічну стежку.
11	Сорокопенська криничка	Сорокопень (Словечанська СОТГ)	51.334880, 28.490160	Вода надзвичайно високої якості. Має високий рівень благоустрою. Інтегрована в рекреаційну зону та екологічну стежку. Має на території культові споруди.

Продовження таблиці 1

№ з/п	Власна назва	Найближчий населений пункт (ОТГ), розпорядник землі	Координати	Сучасний стан, рекомендації щодо подальшої експлуатації
12		Старі Велідники (Словечанськ а СОТГ)	51.312092, 28.442661	Вода надзвичайно високої якості. Має високий рівень благоустрою.
13	Гончарова криниця	Старі Велідники (Словечанськ а СОТГ)	51.302315, 28.416769	Вода високої якості. Має достатній рівень благоустрою.
14	Кам'яний брід	Черевки (Словечанськ а СОТГ)	51.295439, 28.381096	Вода помірної якості. Потребує благоустрою.
15		Листвин (Словечанськ а СОТГ)	51.273319, 28.302965	Вода низької якості. Помірний рівень благоустрою. Потребує очистки.
16		Листвин (Словечанськ а СОТГ)	51.286595, 28.292222	Вода низької якості. низький рівень благоустрою. Потребує благоустрою.
17		Листвин (Словечанськ а СОТГ)	51.323624, 28.346951	Вода помірної якості. Має високий рівень благоустрою. Інтегрована в рекреаційну зону.
18	Городище	Городець (Словечанськ а СОТГ)	51.371381, 28.263831	Вода дуже високої якості. Має високий рівень благоустрою. Інтегрована в рекреаційну зону.
19		Городець (Словечанськ а СОТГ)	51.374611, 28.250861	Вода високої якості. Має достатній рівень благоустрою.
20		Бігунь (Словечанськ а СОТГ)	51.395872, 28.276308	Вода помірної якості. Має помірний рівень благоустрою.
21		Бігунь (Словечанськ а СОТГ)	51.395831, 28.290175	Вода низької якості. Має помірний рівень благоустрою. Потребує очистки та ремонту.
22		Черевки (Словечанськ а СОТГ)	51.317623, 28.392608	Вода високої якості. Має достатній рівень благоустрою.
23		Велика Хайча (Овруцька МОТГ)	51.299638, 28.596886	Вода дуже високої якості. Має високий рівень благоустрою.
24		Клинець (Овруцька МОТГ)	51.331743, 28.690034	Вода високої якості. Має достатній рівень благоустрою. Потребує косметичного ремонту

Береги річки представлені сильно синантропізованими угрупованнями із великим числом інвазійної флори. Тут переважають лісо-чагарникові угруповання асоціації *Salicetum albae-fragilis* R.Tx 1955, лучні порядку *Molinetalia Pawlowski* 1928 та класу *Bidentea tripartiti*. R.Tx., Lohmaer et Preising 1950. З віддаленням від берегової лінії на відкритих ділянках переважають деградовані луки порядку *Arrhenatheretalia* Pawl 1928.

Тут зустрічаються такі раритетні біосистеми:

1. *Salvinia natans* (L.) All. – входить до додатку II Бернської конвенції;

2. *Trapa natans* L. – входить до додатку II Бернської конвенції.

Оселища:

1. Вільноплаваючі скупчення *Hydrocharis morsus-ranae* (C1.222 Floating *Hydrocharis morsus-ranae rafts* – додаток IV-VI Бернської конвенції);

2. Вільноплаваючі скупчення *Stratiotes aloides* (C1.223 Floating *Stratiotes aloides rafts* – додаток IV-VI Бернської конвенції);

3. Вільноплаваючі килимки *Salvinia natans* (C1.225 Floating *Salvinia natans mats* – додаток IV-VI Бернської конвенції).

Для збереження цих раритетних біосистем необхідно дотримуватися режиму за якого показники факторів не виходитимуть за межі їхніх екологічних спектрів (табл. 2.).

*Salvinia natans* може бути збережена лише за умови коли багаторічний режим вологості буде коливатися від субгігрофітного ( $W_{np} = 330$  мм) до гігрофітного ( $W_{np} > 360$  мм), а змінність зволоження від гідроконтрастості ( $\omega = 0,35$ ) до гіпергідроконтрастості ( $\omega = 0,41$ ).

*Trapa natans* може бути збережена лише за умови коли

багаторічний режим вологості буде коливатися від субгігрофітного ( $W_{np} = 330$  мм) до супергігрофітного ( $W_{np} > 360$  мм), а змінність зволоження від гіпергідроконтрастості ( $\omega = 0,01$ ) до гідроконтрастості ( $\omega = 0,15$ ).

Оселище C1.222 (Floating *Stratiotes aloides rafts natans*) може бути збережене лише за умови коли багаторічний режим вологості буде коливатися від пергідрості ( $W_{np} = 270$  мм) до супергігрофітного ( $W_{np} > 360$  мм), а змінність зволоження від гіпергідроконтрастості ( $\omega = 0,01$ ) до гідроконтрастості ( $\omega = 0,35$ ).

Оселище C1.223 (Floating *Stratiotes aloides rafts*) може бути збережене лише за умови коли багаторічний режим вологості буде коливатися від субгігрофітного ( $W_{np} = 330$  мм) до супергігрофітного ( $W_{np} > 360$  мм), гіпергідроконтрастості ( $\omega = 0,03$ ) до гемігідроконтрастості ( $\omega = 0,17$ ).

Оселище C1.225 (Floating *Salvinia natans mats*) може бути збережене лише за умови коли багаторічний режим вологості буде коливатися від субгігрофітного ( $W_{np} = 330$  мм) до гігрофітного ( $W_{np} > 360$  мм), а змінність зволоження від гідроконтрастості ( $\omega = 0,35$ ) до гіпергідроконтрастості ( $\omega = 0,41$ ).

Також слід зауважити що нижче за течією знаходиться об'єкт міжнародного значення (Emerald Network) UA0000172 Drevlianskyi Nature Reserve, центральним об'єктом якого річка Уж на території Народицького району. Існування цього об'єкту можливе лише за умови непорушності водного режиму на території Коростенського району.

Таблиця 2.

Екологічний спектр видів та оселищ  
(в балах за уніфікованою шкалою Дідуха-Плюти)

Показники факторів (I – мінімум, A – максимум)	Види		Оселища		
	Salvinia natans	Trapa natans	C1.225	C1.222	C1.223
HDI	19	19	19	17	19
HDA	21	23	21	23	23
HD	20	21	20	20	21
FHI	9	1	9	3	2
FHA	11	4	11	9	5
FH	10	2,5	10	6	3,5
RCI	5	6	5	5	5
RCA	11	10	11	9	11
RC	8	8	8	7	8
SLI	4	6	4	3	6
SLA	11	10	11	11	10
SL	7,5	8	7,5	7	8
CAI	4	4	4	3	3
CAA	7	9	7	7	8
CA	5,5	6,5	5,5	5	5,5
NTI	5	5	5	7	4
NTA	10	10	10	10	11
NT	7,5	7,5	7,5	8,5	7,5
AEI	11	13	11	12	13
AEA	15	15	15	15	15
AE	13	14	13	13,5	14
TMI	7	7	7	4	4
TMA	17	14	17	12	12
TM	12	10,5	12	8	8
OMI	10	3	10	3	3
OMA	14	18	14	13	11
OM	12	10,5	12	8	7
KNI	6	5	6	3	3
KNA	17	11	17	14	12
KN	11,5	8	11,5	8,5	7,5
CRI	7	5	7	5	5
CRA	11	11	11	11	11
CR	9	8	9	8	8
LCI	7	8	7	7	7
LCA	9	9	9	9	9
LC	8	8,5	8	8	8



### Висновки

За результатами обстеження стану малих річок їхні основні проблеми було зведено в три групи: низький та нестійкий дебіт води, евтрофікація та замулення, деградація ландшафтів річкових долин. Низьке наповнення річок водою та її несталий рівень, обумовлені специфікою змін клімату, природними механізмами акумуляції, розподілу та стоку води, активністю природних джерел.

Проблеми малих річок могли б послабити природні запобіжники: болотно-лісові комплекси та природні джерела біля витоків річок, висока частка лісових екосистем верхньої частини річкового басейну,

збереження заплавних лісів першої заплавної тераси верхньої течії і природних прируслових лісів й заплавних лук нижньої течії, а також цілісність природного рослинного покриву більшої частини річкової долини.

Для стабілізації подачі води від природних джерел до річки території їхнього водозбору мають бути перетворені на об'єкти природно-заповідного фонду. Коли джерело знаходиться в межах населеного пункту, то доцільно надавати йому статус пам'ятки природи місцевого значення а коли за його межами – гідрологічного заказника.

### Список використаних джерел

- Білявська В. Б., Хом'як І. В. Динаміка рослинності долини річки Гуйва. Зб. наук. праць *Біологічні дослідження – 2020*. Житомир, 2020. С. 382.
- Божинська А. Б., Хом'як І. В. Відновлювана рослинність річки Тетерів в районі міста Радомишль. Тези Всеукр. наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти і молодих учених *Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції*. Житомир: ЖДТУ, 2021. С. 88.
- Гринковська А. В., Хом'як І. В. Динаміка екосистем прибережних лісів долини річки Кам'янка в межах міста Житомира. Зб. наук. праць *Біологічні дослідження – 2021*. Житомир, 2021. С. 195–196.
- Дідух Я. П., Плюта П. Г. Фітоіндикація екологічних факторів. Київ, 1994. 280 с.
- Дідух Я. П. Основи біоіндикації. Київ: Наукова думка, 2012. 342 с.
- Дідух Я. П. Оцінка стійкості та ризиків втрати екосистем. *Наукові записки НаУКМА. Біологія та екологія*. 2014. Т. 158. С. 54–60.
- Дубина Д. В., Устименко П. М. Антропогенна трансформація та оцінка збалансованості площ рослинності верхнього басейну р. Тиси. *Чорноморський ботанічний журнал*. 2008. Т. 4, № 1. С. 14–25.
- Дубина Д. В., Дзюба Т. П., Ємельянова С. М., Багрікова Н.О. Продромус рослинності України. Київ: Наукова думка, 2019. 784 с.
- Зарічна М. С., Хом'як І. В. Вплив зарегулювання течії на екосистеми долини річки Лісна в Романівському районі. Зб. наук. праць *Біологічні дослідження – 2021*. Житомир, 2021. С. 206–208.
- Категорії та критерії червоного списку МСОП: Версія 3.1. 2-ге вид. Пер. з англ. Київ, 2017. 36 с.
- Козин М. С., Хом'як І. В. Синтаксономічна та екосозологічна характеристика природного джерела «Кам'яний брід». Тези Всеукр. наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти і молодих учених *Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції*. Житомир: ЖДТУ, 2021. С. 104.
- Макарчук Н., Хом'як І. В. Відновлювана рослинність долини річки Жерев в районі села Білокорівичі. Тези Всеукр. наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти і молодих учених *Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції*. Житомир: ЖДТУ, 2021. С. 74.

Макарчук Н. О., Хом'як І.В. Відновлювана природна рослинність долини річки Жерев. Матер. II всеукр. наук.-практ. конф. *Українське Полісся: проблеми та тренди сучасного розвитку*. Ніжин: НДУ ім. Гоголя, 2022. С. 28–30.

Микуліна І. М., Хом'як І. В. Динаміка болотної рослинності в межах села Тайки Ємільчинського району. Зб. наук. праць *Біологічні дослідження – 2021*. Житомир, 2021. С. 204–205.

Патрон М. А., Хом'як І. В. Перспективи розширення поліського природного заповідника на території Словечансько-Овруцького кряжу. Зб. наук. праць *Біологічні дослідження – 2021*. Житомир, 2021. С. 338–339.

Підкаура Е., Хом'як І. В. Еколого-ценотичний профіль середньої течії річки Тетерів. Тези Всеукр. наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти і молодих учених *Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції*. Житомир: ЖДТУ, 2021. С. 35.

Саргеліс А. В., Хом'як І. В., Демчук Н. С. Еколого-ценотичний профіль долини річки Гуйва в Андрушівському районі. Зб. наук. праць *Біологічні дослідження – 2019*. Житомир: «Полісся», 2019. С. 341–342.

Тимченко А. Ю., Хом'як І. В. Автогенні сукцесії в екосистемах гірничих виробок в долині річки Гуйва. Зб. наук. праць *Біологічні дослідження – 2019*. Житомир: «Полісся», 2019. С. 353–354.

Хом'як І. В., Колесник В. М. Динаміка надземної фітомаси рослинних угруповань прирічкових чагарників Центрального Полісся. Тези Всеукр. наук.-практ. конф. *Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції*. Житомир: ЖДТУ, 2016. С. 66.

Хом'як І. В., Шевчик О. О. Оцінка флористичних ресурсів природних екосистем долини річки Случ. Тези Всеукр. наук.-практ. конф. *Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції*. Житомир: ЖДТУ, 2016. С. 69.

Хом'як І.В., Зарічна М.С., Демчук Н.С., Костюк В.С. Вплив зарегулювання течії на динаміку екосистем річки Лісна (Житомирська область). *Екологічні науки*. 2021. № 2 (35). С. 45–48.

Хом'як І. В. Екосозологічна характеристика проектного гідрологічного заказника «Малиновий мох». Матер. I Всеукр. наук.-практ. конф. *Лісові екосистеми: сучасні проблеми і перспективи досліджень – 2022*. Житомир: Поліський національний університет, 2022. С. 41–42.

Хом'як І. В., Козин М. С., Коцюба І. Ю., Василенко О. М. Обґрунтування необхідності охорони витоків малих річок на прикладі Словечансько-Овруцького кряжу. *Екологічні науки*. 2022. № 1 (40). С. 28–32.

Червона книга України. Рослинний світ / М-во охорони навколишнього природного середовища України. Нац. Акад. наук України; за ред. Я. П. Дідуха. Київ: Глобалконсалтинг, 2009. 900 с.

Шапран Т. М., Хом'як І. В. Еколого-ценотичний профіль долини річки Тетерів в районі Шодуарівського парку. Зб. наук. праць *Біологічні дослідження – 2021*. Житомир: 2021. С. 349–351.

Шевчик О. О., Хом'як І. В. Еколого-ценотична характеристика рослинності долини річки Случ в районі м. Новоград-Волинського. Зб. наук. праць *Біологічні дослідження – 2017*. Житомир: ПП «Рута», 2017. С. 212–213.

Шкилюк Ю., Хом'як І.В. Еколого-ценотичний профіль долини річки Тетерів на межі Полісся і Лісостепу. Тези Всеукр. наук.-практ. конф. *Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції*. Житомир, Вид-во ЖДТУ, 2017. С. 35.

Davies C. E., Moss D., Hill M. O. EUNIS Habitat Classification Revised. Report to the European Environment Agency, European Topic Centre on Nature Protection and Biodiversity. Paris, 2004. 310 p.

Henekens S. Turboveg for Windows. 1998–2007. Version 2. Wageningen: Inst. voor Bos en Natuur, 2009. 84 p.

Westhoff V, Maarel E. van der. The Braun-Blanquet approach. Handbook of Vegetation Science. Part V: Ordination and Classification of Vegetation / Ed. By R. H. Whittaker. The Hague, 1973. P. 619–726.

### References (translated & transliterated)

Biliavska, V. B. & Khomiak, I. V. (2020). Dynamika roslynnosti dolyny richky Huiva [Dynamics of the vegetation of the Guywa River Valley]. *Zb. nauk. prats Biologichni doslidzhennia – 2020* [Coll. of science works Biological research – 2020.], 382 [in Ukrainian].

Bozhynska, A. B. & Khomiak, I. V. (2021). Vidnovliuvana roslynnist richky Teteriv v raioni mista Radomyshl [Regenerating vegetation of the Teteriv River in the area of the city of Radomyshl]. *Tezy Vseukr. nauk.-prakt. konf. zdobuvachiv vyshchoi osvity i molodykh uchenykh Stalyi rozvytok krainy v ramkakh Yevropeiskoi intehratsii* [Theses of the All-Ukrainian science and practice conf. students of higher education and young scientists Sustainable development of the country within the framework of European integration]. Zhytomyr: ZhDTU, 88 [in Ukrainian].

Davies, C. E., Moss, D., Hill, M. O. (2004). EUNIS Habitat Classification Revised. Report to the European Environment Agency, European Topic Centre on Nature Protection and Biodiversity. Paris, 310 [in English].

Didukh, Ya. P. & Pliuta, P. H. (1994). Fitoindykatsiia ekolohichnykh faktoriv [Phytoindication of environmental factors]. Kyiv [in Ukrainian].

Didukh, Ya. P. (Eds.). (2009). Chervona knyha Ukrainy. Roslynni svit [Red Book of Ukraine. The plant world]. Kyiv: Hlobalkonsaltnykh [in Ukrainian].

Didukh, Ya. P. (2012). Osnovy bioindykatsii [Basics of bioindication]. Kyiv: Naukova dumka [in Ukrainian].

Didukh, Ya. P. (2014). Otsinka stiikosti ta ryzykiv vtraty ekosystem [Assessing sustainability and risks of ecosystem loss]. *NaUKMA Research Papers. Biology and Ecology*, 158. 54–60 [in Ukrainian].

Dubyna, D. V. & Ustymenko, P. M. Antropohenna transformatsiia ta otsinka zbalansovanosti ploshch roslynnosti verkhnoho baseinu r. Tysy [Anthropogenic transformation and assessment of the balance of vegetation areas of the upper basin of the Tysa River]. *Chornomorski Botanical Journal*, 4 (1), 14–25 [in Ukrainian].

Dubyna, D. V., Dziuba, T. P., Yemelianova, S. M., Bahrikova, N. O. (2019). Prodrumus roslynnosti Ukrainy [Prodrumus vegetation of Ukraine]. Kyiv: Naukova dumka [in Ukrainian].

Hrynkovska, A. V. & Khomiak, I. V. (2021). Dynamika ekosystem pryberezhnykh lisiv dolyny richky Kamianka v mezhakh mista Zhytomyra [Dynamics of coastal forest ecosystems of the Kamyanka River valley within the city of Zhytomyr]. *Zb. nauk. prats Biologichni doslidzhennia – 2021* [Coll. of science Proceedings of Biological research – 2021]. Zhytomyr, 195–196 [in Ukrainian].

Katehorii ta kryterii chervonoho spysku MSOP: Versiia 3.1. 2-he vyd. Per. z anhl. [IUCN Red List Categories and Criteria. Version 3.1. Second edition.]. Kyiv [in Ukrainian].

Kozyn, M. S. & Khomiak, I. V. (2021). Syntaksonomichna ta ekosozolohichna kharakterystyka pryrodnoho dzherela «Kamiani brid» [Syntaxonomic and ecosozological characteristics of the natural spring "Stone ford"]. *Tezy Vseukr. nauk.-prakt. konf. zdobuvachiv vyshchoi osvity i molodykh uchenykh Stalyi rozvytok krainy v ramkakh Yevropeiskoi intehratsii* [Theses of the All-Ukrainian science and practice conf. students of higher education and young scientists Sustainable development of the country within the framework of European integration]. Zhytomyr: ZhDTU, 104 [in Ukrainian].

Makarchuk, N. & Khomiak, I. V. (2021). Vidnovliuvana roslynnist dolyny richky Zherev v raioni sela Bilokorovychi [Regenerating vegetation of the Zherev River valley near the village of Bilokorovychy]. *Tezy Vseukr. nauk.-prakt. konf. zdobuvachiv vyshchoi osvity i molodykh uchenykh Stalyi rozvytok krainy v ramkakh Yevropeiskoi intehratsii*

[Theses of the All-Ukrainian science and practice conf. students of higher education and young scientists Sustainable development of the country within the framework of European integration]. Zhytomyr: ZhDTU, 74 [in Ukrainian].

Makarchuk, N. O. & Khomiak, I. V. (2022). Vidnovliuvana pryrodna roslynnist dolyny richky Zherev [Regenerating natural vegetation of the Zherev River valley]. Mater. II vseukr. nauk.-prakt. konf. *Ukrainske Polissia: problemy ta trendy suchasnoho rozvytku* [Mater. And Ukrainian science and practice conf. Ukrainian Polissia: problems and trends of modern development]. Nizhyn: NDU im. Hoholia, 28–30 [in Ukrainian].

Mykulina, I. M. & Khomiak, I. V. (2021). Dynamika bolotnoi roslynnosti v mezhakh sela Taiky Yemilchynskoho raionu [Dynamics of swamp vegetation within the Tayky village of Yemilchyna district]. Zb. nauk. prats *Biologichni doslidzhennia – 2021* [Coll. of science Proceedings of Biological research – 2021]. Zhytomyr, 204–205 [in Ukrainian].

Patron, M. A. & Khomiak, I. V. (2021). Perspektyvy rozshyrennia poliskoho pryrodnoho zapovidnyka na terytorii Slovechansko-Ovrutskoho kriazhu [Prospects for the expansion of the Polis nature reserve on the territory of the Slovak-Ovrutsky ridge]. Zb. nauk. prats *Biologichni doslidzhennia – 2021* [Coll. of science Proceedings of Biological research – 2021]. Zhytomyr, 338–339 [in Ukrainian].

Pidkaura, E. & Khomiak, I. V. (2021). Ekoloho-tsenotychnyi profil serednoi techii richky Teteriv [Ecological and coenotic profile of the middle course of the Teteriv River]. Tezy Vseukr. nauk.-prakt. konf. zdobuvachiv vyshchoi osvity i molodykh uchenykh *Stalyi rozvytok krainy v ramkakh Yevropeiskoi intehratsii* [Theses of the All-Ukrainian science and practice conf. students of higher education and young scientists Sustainable development of the country within the framework of European integration]. Zhytomyr: ZhDTU, 35 [in Ukrainian].

Sarhelis, A. V., Khomiak, I. V., Demchuk, N. S. (2019). Ekoloho-tsenotychnyi profil dolyny richky Huiva v Andrushivskomu raioni [Ecological and coenotic profile of the Guiva River valley in the Andrushiv district]. Zb. nauk. prats *Biologichni doslidzhennia – 2019* [Coll. of science Proceedings of Biological research – 2019]. Zhytomyr: «Polissia», 341–342 [in Ukrainian].

Shevchyk, O. O. & Khomiak, I. V. (2017). Ekoloho-tsenotychna kharakterystyka roslynnosti dolyny richky Sluch v raioni m. Novohrad-Volynskoho [Ecological and coenotic characteristics of the vegetation of the Sluch River valley in the area of Novohrad-Volynskiy]. Zb. nauk. prats *Biologichni doslidzhennia – 2017* [Coll. of science Proceedings of Biological research – 2017]. Zhytomyr: «Ruta», 212–213 [in Ukrainian].

Tymchenko, A. Yu. & Khomiak, I. V. (2019). Avtoheni suktsesii v ekosystemakh hirnychkykh vyrobok v dolyni richky Huiva [Autogenic successions in the ecosystems of the mine workings in the valley of the Guiva River]. Zb. nauk. prats *Biologichni doslidzhennia – 2019* [Coll. of science Proceedings of Biological research – 2019]. Zhytomyr: «Polissia», 353–354 [in Ukrainian].

Khomiak, I. V. & Kolesnyk, V. M. (2016). Dynamika nadzemnoi fitomasy roslynykh uhropovan pryrychkovykh chaharnykyv Tsentralnoho Polissia [Dynamics of above-ground phytomass of plant groups of riparian shrubs of the Central Polissia]. Tezy Vseukr. nauk.-prakt. konf. *Stalyi rozvytok krainy v ramkakh Yevropeiskoi intehratsii* [Theses of the All-Ukrainian science and practice conf. Sustainable development of the country within the framework of European integration]. Zhytomyr: ZhDTU, 66 [in Ukrainian].

Khomiak, I. V. & Shevchyk, O. O. (2016). Otsinka florystychnykh resursiv pryrodnykh ekosystem dolyny richky Sluch [Assessment of floristic resources of natural ecosystems of the Sluch river valley]. Tezy Vseukr. nauk.-prakt. konf. *Stalyi rozvytok krainy v ramkakh Yevropeiskoi intehratsii* [Theses of the All-Ukrainian science and practice conf. Sustainable development of the country within the framework of European integration]. Zhytomyr: ZhDTU, 69 [in Ukrainian].

Khomiak, I.V., Zarichna, M.S., Demchuk, N.S., Kostiuk, V.S. (2021). Vplyv zarehulivannia techii na dynamiku ekosystem richky Lisna (Zhytomyrska oblast) [The

influence of flow regulation on the dynamics of ecosystems of the Lisna River (Zhytomyr Region)]. *Ecological sciences*, 2 (35), 45–48 [in Ukrainian].

Khomiak, I. V. (2022). Ekosozolohichna kharakterystyka proektovanoho hidrolohichnoho zakaznyka «Malynovi mokh» [Eco-zoological characteristics of the designed hydrological reserve "Raspberry Moss"]. Mater. I Vseukr. nauk.-prakt. konf. *Lisovi ekosystemy: suchasni problemy i perspektyvy doslidzhen – 2022* [Mater. And All-Ukrainian science and practice conf. Forest ecosystems: current problems and research prospects – 2022]. Zhytomyr: Poliskyi natsionalnyi universytet, 41–42 [in Ukrainian].

Khomiak, I. V., Kozyn, M. S., Kotsiuba, I. Yu., Vasylenko, O. M. (2022). Obgruntuvannia neobkhidnosti okhorony vytokiv malykh richok na prykladi Slovechansko-Ovrutskoho kriazhu [Justification of the need to protect the sources of small rivers on the example of the Slovak-Ovrutsky ridge]. *Ecological sciences*, 1 (40), 28–32 [in Ukrainian].

Shapran, T. M. & Khomiak, I. V. (2021). Ekoloho-tsenotychnyi profil dolyny richky Teteriv v raioni Shoduarivskoho parku [Ecological and cenotic profile of the valley of the Teteriv River in the area of Shoduariv Park]. Zb. nauk. prats *Biolohichni doslidzhennia – 2021* [Coll. of science Proceedings of Biological research – 2021]. Zhytomyr, 349–351 [in Ukrainian].

Shkyliuk, Yu. & Khomiak, I.V. (2017). Ekoloho-tsenotychnyi profil dolyny richky Teteriv na mezhi Polissia i Lisostepu [Ecological and coenotic profile of the Teteriv River valley on the border of Polissia and Forest Steppe]. Tezy Vseukr. nauk.-prakt. konf. *Stalyi rozvytok krainy v ramkakh Yevropeiskoi intehratsii* [Theses of the All-Ukrainian science and practice conf. Sustainable development of the country within the framework of European integration]. Zhytomyr, Vyd-vo ZhDTU, 35 [in Ukrainian].

Hennekens, S. (2009). *Turboveg for Windows*. 1998–2007. Version 2. Wageningen: Inst. voor Bos en Natuur, 84 [in English].

Westhoff, V., Maarel, E. van der. (1973). The Braun-Blanquet approach. Handbook of Vegetation Science. Part V: Ordination and Classification of Vegetation / Ed. By R.H. Whittaker. The Hague, 619–726 [in English].

Zarichna, M. S. & Khomiak, I. V. Vplyv zarehuliuвання techii na ekosystemy dolyny richky Lisna v Romanivskomu raioni [The influence of flow regulation on the ecosystems of the Lisna River valley in the Romaniv district]. Zb. nauk. prats *Biolohichni doslidzhennia – 2021* [Coll. of science Proceedings of Biological research – 2021]. Zhytomyr, 206–208 [in Ukrainian].

Отримано: 4 вересня 2022  
Прийнято: 17 листопада 2022



Ukrainian Journal of Natural Sciences  
Issue 2  
Український журнал природничих наук  
Випуск 2

ISSN: 2786-6335 print  
ISSN: 2786-6343 online

## ГЕОГРАФІЯ

UDC 911.5/.9

DOI 10.35433/naturaljournal.2.2023.85-94

### RECOGNITION OF A LANDSCAPE TECHNO-SPHERE AS A NEW GEOSPHERE

O. D. Lavryk<sup>1</sup>, V. V. Tsymbaliuk<sup>2</sup>, L. I. Poshtaruk<sup>3</sup>

*The second half of XX century – the beginning of XXI century are characterized by the active development of a global ecological crisis, which is described by a critical state of the environment and excessive anthropogenization of a geographical sphere. The changes which lead to the formation of absolutely new techno-genic landscapes occur at very fast rates in current geo-spheres. The purpose of the work is to substantiate the recognition of a new geo-sphere – a landscape techno-sphere – based on the previous experience and our field research. The main tasks of the research are to analyze specific features and properties of a landscape techno-sphere; to identify its upper and lower borders; to study a structural organization of all options of a landscape sphere with available techno-substances; to characterize briefly the main stages of the development of a techno-sphere.*

*The research of a landscape techno-sphere is a complicated process and it is based on the use of classical and innovative methodological principles of contemporary geography. A parallel application of three scientific paradigms is the foundation: system, model and ecological. They do not contradict each other; they rather compliment the studying of the interaction between nature and engineering.*

*A system approach allows considering a techno-sphere as a complicated system of a lower taxonomic range of a landscape sphere and a geographical sphere. The following generally accepted scientific methods are used in the paper: analysis, synthesis, comparison, generalization, systematization, induction and deductions.*

*The article substantiates the existence of a new geosphere – the landscape techno-sphere, which is formed by the planetary set of landscape-technical systems. It is noted that it does not have a continuous distribution, but is constantly increasing in size and gradually goes beyond the*

<sup>1</sup> Doctor Sciences in Geography, docent,  
Professor Head of the Department of Ecology and Geography  
(Zhytomyr Ivan Franko State University)  
e-mail: slavrik1979@gmail.com  
ORCID 0000-0003-2604-2500

<sup>2</sup> Candidate of Chemical Sciences (PhD in Chemistry), docent,  
Lecturer and Specialist of the Highest Qualification Category of the Cycle Commission of Natural Sciences and Mathematics  
(Municipal Institution “Uman Taras Shevchenko Professional College of Education and Humanities of Cherkasy Regional Council”)  
e-mail: wwala1975@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-2509-6956

<sup>3</sup> Lecturer and Specialist of the Highest Qualification Category of the Cycle Commission of Natural Sciences and Mathematics  
(Municipal Institution “Uman Taras Shevchenko Professional College of Education and Humanities of Cherkasy Regional Council”)  
e-mail: poshtaruk\_larisa@ugpk.edu.ua  
ORCID: 0000-0002-4465-3527

landscape. The specific features and properties of the landscape techno-sphere are analyzed in detail. Taking into account the criterion of the presence of a zone of direct contact of three blocks of landscape-technical systems (managerial, technical and natural), the upper and lower limits of the landscape techno-sphere are identified. The structure of all variants of the landscape sphere in the presence of technological substances is considered. The main periods of development of the landscape techno-sphere are briefly described. It is concluded that man will never be able to control landscape-technical systems on a planetary scale. However, applying the methods and principles of engineering landscape research, it is possible to achieve optimal interaction of the three blocks of landscape-technical systems and to extend their functional suitability.

**Keywords:** landscape techno-sphere, engineering landscape science, anthropogenic landscapes, landscape-technical systems, techno-genesis.

## ВИЗНАННЯ ЛАНДШАФТНОЇ ТЕХНОСФЕРИ ЯК НОВОЇ ГЕОСФЕРИ

О.Д. Лаврик, В.В. Цимбалюк, Л.І. Поштарук

*Друга половина ХХ ст. – початок ХХІ ст. відзначаються прогресуванням глобальної екологічної кризи, яка характеризується критичним станом довкілля та надмірною антропогенізацією географічної оболонки. Дуже швидкими темпами у сучасних геосферах відбуваються зміни, що призводять до формування нових техногенних ландшафтів. Мета роботи: на основі попереднього досвіду і власних польових досліджень обґрунтувати виокремлення нової земної оболонки – ландшафтної техносфери. Основні завдання дослідження: проаналізувати специфічні ознаки і властивості ландшафтної техносфери; ідентифікувати її верхню і нижню межі; розглянути структурну організацію усіх варіантів ландшафтної сфери за наявності техноречовини; коротко охарактеризувати основні етапи розвитку ландшафтної техносфери.*

*Дослідження ландшафтної техносфери – процес складний і ґрунтується на використанні класичних та інноваційних методологічних засад сучасної географії. У їх основі лежить паралельне використання трьох наукових парадигм: системної, модельної та екологічної. Вони не суперечать одна одній і взаємодоповнюють вивчення взаємодії природи і техніки.*

*Системний підхід дозволяє розглядати ландшафтну техносферу як складну систему нижчого таксономічного рангу ландшафтної сфери та географічної оболонки. У статті застосовано загальнонаукові методи: аналізу, синтезу, порівняння, узагальнення, систематизації, індукції і дедукції.*

*У статті обґрунтовано існування нової земної оболонки – ландшафтної техносфери, яку формує планетарна сукупність ландшафтно-технічних систем. Відмічено, що вона не має суцільного поширення, однак постійно збільшується в розмірах і поступово виходить за межі ландшафтної сфери. Детально аналізуються специфічні ознаки та властивості ландшафтної техносфери. Враховуючи критерій наявності зони безпосереднього контракту трьох блоків ландшафтно-технічних систем (управлінського, технічного та природного), ідентифіковано верхню і нижню межі ландшафтної техносфери. Розглядається структура усіх варіантів ландшафтної сфери за наявності техноречовини. Коротко схарактеризовані основні етапи розвитку ландшафтної техносфери. Зроблено висновок про те, що людина ніколи не зможе керувати ландшафтно-технічними системами у планетарному масштабі. Однак, застосовуючи методи та принципи інженерного ландшафтознавства дослідження, можна досягти оптимальної взаємодії трьох блоків ландшафтно-технічних систем і продовжити їх функціональну придатність.*

**Ключові слова:** ландшафтна техносфера, інженерне ландшафтознавство, антропогенні ландшафти, ландшафтно-технічні системи, техногенез.

### Introduction

The second half of XX century – the beginning of XXI century are characterized by the active development of a global ecological crisis (Cowie et al., 2022), which is described by a critical state of the environment and excessive anthropogenization of a geographical sphere. The reconstruction of the majority

of the countries after World War II, a scientific-technical revolution, the growth of the population, a new stage of “a cold war” between West and East became the reasons for a drastic change in the landscape construction of the Earth. The idea of V. I. Vernadskyi about a noosphere and his statement: “The image of the planet changes drastically. A stage of a

noosphere is created. An active development takes place in a biosphere, its further history is seen to be magnificent” (Lavryk, 2018) cause no admiration any longer. In fact, the present-day economic activity, by its scope, is at the same level with planetary mass- and energy-exchangeable processes. The consequences of techno-genesis are the depletion of natural resources, the pollution of the environment with production wastes, the damage of ecosystems, the change of a geo-sphere structure, etc. The changes which lead to the formation of absolutely new techno-genic landscapes occur at very fast rates in current geo-spheres.

The majority of the researchers (Haff, 2016; Zalasiewicz, 2016; Mendes, 2021) believe that mankind has long lived in the epoch of techno-genesis and a techno-sphere. A leading role is played by “engineering, which uses huge scopes of power and substances of a biosphere, displaces and suppresses living organisms, including man, turns them into its way” (Lavryk, 2018). According to the calculations of the latest research, the total mass of a current techno-sphere is 10.11 trillion tons, i.e., 50 kg of techno-substance account for 1 m<sup>2</sup> (Zalasiewicz, 2016). Power indicators of techno-genesis exceed other geological processes (erg/hr) by several times: techno-substance –  $2.2 \times 10^{27}$ ; techno-genic heat consumption –  $1.6 \times 10^{27}$ ; earthquakes –  $0.5 \times 10^{26}$ ; volcanism –  $1.5 \times 10^{26}$ ; radioactive decay –  $1.4 - 3.0 \times 10^{28}$  (Lavryk, 2018).

The area of a techno-sphere increases in the following way: city (3.7 mln km<sup>2</sup>) and village (4.2 mln km<sup>2</sup>), pasture (33.5 mln km<sup>2</sup>) and field (16.7 mln km<sup>2</sup>), fisheries (15 mln km<sup>2</sup>), eroded areas (5.3 mln km<sup>2</sup>), country roads (0.5 mln km<sup>2</sup>), forest plantations (2.7 mln km<sup>2</sup>), water reservoirs (0.2 mln km<sup>2</sup>) and railroads 0.03 mln km<sup>2</sup>) (Zalasiewicz, 2016).

A large amount of water is used within a techno-sphere: about 5000 km<sup>3</sup>/year. It corresponds to almost 1/5 of the moisture volume which is introduced into a planetary cycle due to the

transpiration of all terrestrial plants. A techno-sphere gas-exchange amounts to 150 th. km<sup>3</sup>/year, which exceeds 1/4 of a bio-sphere gas-exchange (Lavryk, 2018).

The growth of the population of the planet to 7.62 bln results in the increased consumption of natural resources. However, “people use only few percents of the consumed natural substances and power for their needs, the rest goes to create and support the activity of technical (landscape-technical) systems” (Lavryk, 2018).

Since the moment a concept of a noo-sphere (Pitt & Samson, 2012) was formed, the representatives of different scientific tendencies (Kavalerov, 2011; Melnyk & Maryniuk, 2013; Sova, 2013; Lahoz-Beltra, 2018) have been discussing the feasibility of transformation: bio-sphere → techno-sphere → noo-sphere. No common opinion has been reached yet. Such transition is possible from the philosophical point of view. Ecologists believe that a current bio-sphere has already been transformed into a global natural-technical (landscape-technical) system – a bio-tehno-sphere. Neither the transition to a previous natural state nor the reduction of the role of techno-genic factors appears to be possible.

According to F. M. Milkov, a landscape sphere of the Earth serves as a basis for a techno-sphere (Denysyk & Volovyk, 2001), which has gone beyond some geo-spheres during the last half of the century. Not denying the fact of the existence of a techno-sphere, the authors believes it is not appropriate to analyze it without taking into consideration the availability of a geo-component. At a contemporary stage of the development a natural landscape sphere is a paleolandscape basis for the formation of available landscapes. Their functioning is the reason for the transformation of this sphere into an anthropogenic landscape sphere in which “natural landscapes as well as the life of the population and the whole cultures become a united entity” (Denysyk, 2012). The anthropogenic landscape sphere is not a constant entity; it evolves and continues to differentiate. Its



accumulation within a mighty layer of a techno-genic cover confirms that in XXI century another specific sphere functions, namely a landscape techno-sphere. It does

not have a continuous distribution but it gradually grows and can go beyond a landscape sphere (fig. 1).

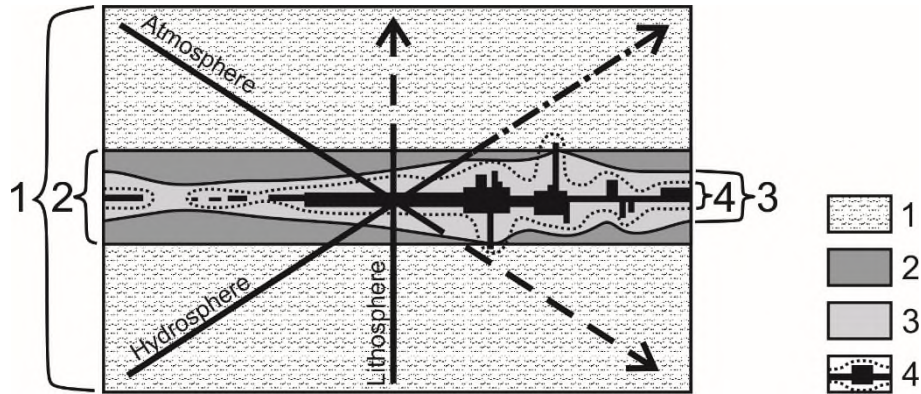


Fig. 1. Location of techno-sphere in geographical sphere

1 – geographical sphere; 2 – landscape sphere; 3 – anthropogenic landscape sphere; 4 – landscape techno-sphere.

The purpose of the work is to substantiate the recognition of a new geosphere – a landscape techno-sphere – based on the previous experience and our field research. The main tasks of the research are to analyze specific features and properties of a landscape techno-sphere; to identify its upper and lower borders; to study a structural organization of all options of a landscape sphere with available techno-substances; to characterize briefly the main stages of the development of a techno-sphere.

#### Materials and methods

The research of a landscape techno-sphere is a complicated process and it is based on the use of classical and innovative methodological principles of contemporary geography. A parallel application of three scientific paradigms is the foundation: system, model and ecological. They do not contradict each other; they rather compliment the studying of the interaction between nature and engineering. A system approach allows considering a techno-sphere as a complicated system of a lower taxonomic range of a landscape sphere and a geographical sphere. The following generally accepted scientific methods are used in the paper: analysis, synthesis, comparison, generalization,

systematization, induction and deductions.

#### Results and discussions

A landscape techno-sphere is the object of the research of engineering landscape studying. Using the data of various sciences, this trend studies techno-genic processes which lead to the formation of landscape-technical systems (LTchS). It is these block systems that represent most of the anthropogenic landscapes. A complex of landscape-technical systems of the planet and their interconnections form a landscape techno-sphere. It is a specific combination of the components of a landscape sphere and a techno-sphere within a geographical sphere.

The location of a landscape techno-sphere on a contact border of spheres which are of a natural and techno-genic origin makes it possible to single out a set of specific features:

1) the availability of techno-genic covering (techno-substance) – a complex of elements which form a technical block of LTchS. They are formed in the process of a goal-oriented effect on landscape geo-components with help of different means of labor. Techno-substance cannot be formed in a natural way; it can result from man's activity. The

transformations which geo-components undergo can be partial or fundamental. The examples of techno-genic covering with partially changed elements are granite pavement, flooring with wooden boards, sand embankment and alike. When used as building materials, only an external form of geo-components changes. As a rule, such techno-genic covering is less harmful for the environment due to natural genesis of the elements. The manufacture of ferroconcrete, asphalt and road tar covering requires a fundamental transformation of initial geo-components. The changes take place in their chemical composition and aggregate condition which explains their total anthropogenic origin. "Artificial" techno-genic covering, entering mass- and power-exchange with a natural block, becomes the reason of ecological unbalance. Thus, both a separate detail and a specialized apparatus can play the role of techno-genic covering;

2) a three-block model of a structure. At the very beginning stages of the development, landscape-technical systems were formed with three blocks. The three blocks – the block of management (man), a natural block (geo-components) and a technical block (techno-genic covering) – are equally important and they are in close interconnection. Social-economic geography studies the role of man as an initiator of economic activity. Physical geography, and in particular landscape studies, research all the diversity of geo-components and natural landscapes. A complex of engineering subjects is aimed at the analysis of the activity of a technical block of LTchS. Using the principles and techniques of the mentioned subjects, engineering landscape studies deal with the continuation and improvement of the economic value of landscape-technical systems;

3) the course of techno-genesis as a result of the exchange of techno-substance, power and information between blocks. It is the basis of all

processes and events which occur in landscape-technical systems. Techno-genesis can be direct when a technical block has a direct effect on a natural one, and indirect when the effect "is late" in time. Releasing a large amount of power and forming a techno-genic covering, man redistributes mass- and power-exchange flows in anthropogenic landscapes. Along with this, some atypical chemical elements get into a natural block of the system. ландшафтах. Accordingly, LTchS begins to function by new laws which were not inherent to an initial landscape. Most frequently, this leads to destabilization of the condition of the environment.

A landscape techno-sphere has some specific features which define the interaction among its components, phenomena and processes. They are typical for both a sphere as a global entity and for each block system taken separately. The main features are as follows:

- integrity means that any element (no matter which block it belongs to) plays an important role and makes its contribution to the functioning of a landscape-technical system. The change of one element leads to the transformation of a separate block which will have its later effect on the whole system;

- phasing – it is a course of certain time periods in the development of a landscape-technical sphere. Under definite conditions, LTchS go through the stages of "birth", functioning and "damage". And their structure undergoes serious changes;

- cycle nature of the development which is seen after the system destruction. Even totally destroyed LTchS can restore its functioning and get its economic value when there is a solid block of management. And a favorable geographical location plays an important role. For instance, river valleys and sea coasts have always been the places of a significant concentration of various landscape-technical systems.

- heterogeneity confirms some

differences of the same, from the first sight, areas of a landscape techno-sphere. This feature is connected mostly with latitude and altitude zonality. For example, engineering-technical facilities, which have similar structure and material, form various LTchS within different geographical (landscape) zones.

Similar to any other sphere, a landscape techno-sphere has its boundaries. They are not clearly seen, they are expressed differently in different areas, and their definition is to include both technical and landscape aspects. It will be a mistake to identify the boundaries of a landscape techno-sphere only by the spread of techno-substance around. Modern planes perform regular flights at altitudes 9–12 km in the atmosphere, and space ships fly beyond heliosphere (Ness et al., 2013). Drilling wells reach the depth of over 12 km in a lithosphere (Fuchs et al., 1990). However, only the functioning of technical systems (block of management+technical block) is possible on these marks, it is not wise to confuse them with landscape-technical systems in which a natural block is a third mandatory component.

The ideas of F. M. Milkov (Denysyk & Volovyk, 2001) were taken as a basis for the identification of the boundaries of a landscape techno-sphere. He thought a surface air layer to the height 30–50 m to be an upper boundary of a landscape sphere and a weathering crust which is at depths from one to several meters – a lower boundary. The following is observed within these boundaries: daily fluctuations of temperature and air humidity, power-developed thermal convection, typical increased air dust and high content of salt particles in the World Ocean. A weathering crust is a product of the joint effect of the atmosphere, water and biota on mountainous rocks. A total capacity of a landscape sphere is from dozens to 200 m (Denysyk, 2012). Modern LTchS can function beyond these boundaries. For instance, the highest residential building on the planet “Burj Khalifa” (Dubai) reaches the height 828 m, the deepest subway station “Arsenalna”

(Kyiv) is at the depth 105.5 m. The main factor for the identification of the spread of a landscape techno-sphere is the availability of the zone of a direct contact of three blocks of LTchS. The upper boundary in the atmosphere is 20–25 km (the height of an ozone layer), as at a larger height a biological geo-component is destroyed by the ultra-violet radiation of the Sun. A lower boundary in a lithosphere is a zone of hyper-genesis. Its depth is not constant/fixed (up to several hundreds of meters), as it depends on the effect of a complex of biotic and abiotic factors on mountainous rocks. A theoretically possible capacity of a landscape techno-sphere amounts to 25 km within a current geographical sphere. The spread of techno-substance over this figure will mean the loss of the connection with a natural block, and its functioning is to be considered as a technical system.

A landscape techno-sphere is a component of a lower taxonomic rank of a landscape sphere F. M. Milkov. Its formation is associated with the involvement of techno-substance (T) and techno-genesis in the zone of a mutual contact of four contrast environments: lithosphere (L), atmosphere (A), hydrosphere in liquid (Hv) and solid state (Hl). However, when landscape-technical systems appear, not all the mentioned environments take part in all cases. The following combinations are singled out:

- 1) lithosphere + atmosphere + techno-substance (L+A+T);
- 2) lithosphere + hydrosphere in liquid state + atmosphere + techno-substance (L+Hv+A+T);
- 3) hydrosphere in liquid state + atmosphere + techno-substance (Hv+A+T);
- 4) hydrosphere in solid state + atmosphere + techno-substance (Hl+A+T);
- 5) lithosphere + hydrosphere in liquid state + techno-substance (L+Hv+T).

The mentioned combinations differ from each other by the intensity and the form of a mutual exchange of substances, power and information. Five main options (divisions) of a landscape sphere correspond to five combinations of

contrast environments. LTchS, which have serious differences, are formed in each option (terrestrial, terraqueous, aqueous, ice, underwater).

A terrestrial option (L+A+T) is common with some intervals from high-near-polar latitudes to the equator. It covers a large area of the planet surface – 133.4 mln km<sup>2</sup> (26.1%). Orographical and climatic factors predetermine a significant diversity of the landscapes and in turn landscape-technical systems which are formed in their boundaries. Residential buildings, automobile roads, mines and others are the examples of terrestrial LTchS.

A terraqueous option (L+Hv+A+T) is characterized by a serious contrast of the environments and a high intensity of mass- and power-exchange. Its structure is formed by the shallow waters of the World Ocean (up to 200 m deep), lake and salt lake landscapes. Favorable conditions for the development of biota and the availability of close occurrence of minerals predetermine the creation of water-economic, mining and recreation landscape-technical systems. Terraqueous LTchS include water-reservoirs, ponds, canals, bulk shelf islands, oil production platforms.

An aqueous (aqueous-layer) option (Hv+A+T) is the most common one and it covers the area which is equal to almost 333 mln km<sup>2</sup> (Denysyk, 2012). It was formed by a 200-m near-surface layer of ocean waters and a lower layer of a troposphere up to the height of 30 m. There are not many purposefully created landscape-technical systems here. Half-submerged oil production platforms can belong to them, to some extent. However, it is planned to build floating islands made of plastic garbage the amount of which is so big on the surface of the World Ocean.

An ice option (Hv+A+T) is formed of glaciers and long-term sea ice of Arctic and Antarctic. Low temperatures of substrate and air dominate regularly here, as well as a small composition of flora and fauna (Denysyk, 2012). Severe

natural conditions for people to survive in sub-polar latitudes and highlands make it difficult to build engineering-technical facilities. Scientific-observation stations on shelf glaciers and drifting ices, where a complex of geographical observation is carried out, belong to ice LTchS.

An underwater option (L+Hv+T) occupies the bottom of the World Ocean below 200 m of the depth. It is characterized by the lack of light, the availability of water – instead of atmosphere and silt – instead of soils. A set of underwater communication cables to transmit telephone signals and data from Eurasia to North and South America is placed on the bottom of the Atlantic Ocean. A railway Eurotunnel (the length is 50.45 km) which connects continental Europe with the island of Great Britain functions under the waters of the English Channel.

The history of the formation of a landscape techno-sphere is closely connected with an anthropogenic stage of the development of a landscape sphere (table 1). Although their general duration is about 40<sup>th</sup> years, a wide spread of landscape-technical systems has occurred during the last 3 thousand years. The processes of techno-genesis took place more intensively particularly beginning from the second half of XVI century. At that time the power of “water” wheel was actively used in agriculture and industry. The invention of steam engine in the second half of XVIII century predetermined an urgent need to mine coal and iron ore. The discovery of electricity and internal combustion engine (the end of XIX – the beginning of XX century) resulted in drastic changes of the landscapes of the planet. In XX century a scientific-technical revolution took place; its characteristic feature was a transition to a totally automated production based on electronic engineering. The beginning of XXI century has proved the fact that techno-substance takes a dominating place among the components of a landscape sphere.

Table 1

Periodization of the development of a landscape techno-sphere

No	Name of the stage	Time	Duration in years	Characteristics
1.	Oldest stage	Upper Paleolithic; 40 th. – 10 th. years ago (from the middle of wurm till the end of ice age)	30 th.	The substitution of primitive herd for tribal community. The appearance of different tools for hunting, taming a dog. The global spread of man. The activity of man is mostly limited by its effect on animal and plant world.
2.	Ancient stage	Mesolithic, Neolith, Bronze age; 10 th. – 3 th. years ago	7 th.	The appearance of a stone and later bronze axe, earthenware, livestock production and arable farming. In addition to plant and animal world, man's effect extends on soils and topography. The beginning of the formation of a landscape techno-sphere.
3.	New stage	Iron age, a historical period to the middle of XX century; 3 th. years ago – 1945	Less than 3 th.	The dominance of iron in material culture. The development of a class distribution of society. A sharp growth of the population and machinery. World War I and II. A deep and all-round effect on a landscape sphere and a geographical sphere.
4.	Modern stage	The year of 1945 – the end of XX century	55 years	Man's progress in mastering atomic energy and in space exploration. The disappearance of numerous species of plants and animals. "Cold" war. Mass testing of nuclear weapons. The increase in the number of accidents of techno-genic nature. The development of a global ecological crisis.
5.	Current stage	From the beginning of XXI century to our days	The stage has just started	Regular flights into space. The development of nanotechnologies. A wide use of gene-modified organisms. The world economic crisis. Global warming and a climate change of the Earth. The going of a techno-substance beyond the Solar system.

A present-day period of the development of a landscape sphere proves that there are too few landscapes of natural origin left. The processes of techno-genesis transformed terrestrial and terraqueous options most of all. Techno-genic covering increases constantly the area on the surface of the whole planet. Along with this, a natural landscape sphere plays the role of a paleo-landscape basis for the formation of a new, more powerful landscape techno-sphere of the Earth. Taking into account a relatively

short period of time during which anthropogenization of the planet took place, in the near future landscape-technical systems will supersede "relics" of natural landscapes and anthropogenic landscapes themselves. Engineering landscape science is introduced with the aim of rational management and use of such systems (Lavryk, 2016).

**Conclusions**

In the current conditions of the irrational use of natural resources and the excessive load on the environment, man

will never be able to control landscape-technical systems on a planetary scale. A block of management can play a leading role only in LTchS on a regional level. No matter how strong the processes of techno-genesis are, they will not be able to resist inner forces of the Earth and the power of the Sun. The concept of V. I. Vernadskyi about noosphere will not become a reality, and a current global ecological crisis is a bright example of it. The efforts of the mankind to subordinate

a natural block to a technical one can lead to a world collapse. However, using the methods and principles of engineering landscape science, it is possible to reach the optimal interaction of three blocks of LTchS and to extend their functional ability. In this case, the subject of the mentioned scientific trend will be a complex of techno-genic processes and correlations in block systems which form a landscape techno-sphere.

### Список використаних джерел

- Денисик Г. І., Воловик В. М. Нариси з антропогенного ландшафтознавства : навч. посіб. Вінниця : ГІПАНІС, 2001. 170 с.
- Денисик Г. І. Антропогенне ландшафтознавство : навч. посіб. : в 2 ч. Вінниця : ПП «ТД Видавництво Едельвейс і К», 2012. Ч. I: Глобальне антропогенне ландшафтознавство. 306 с.
- Кавалеров В. А. Від «техносфери» до «ноосфери»: філософсько-освітній аспект. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія : Філософія. Психологія. Педагогіка.* 2011. № 3. С. 24–28.
- Лаврик О. Д. Інженерне ландшафтознавство: сучасний стан і перспективи розвитку. *Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія : Географія.* 2016. Вип. 28, № 1–2. С. 10–17.
- Лаврик О. Д. Ландшафтна техносфера. *Науковий вісник Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. Серія : Географія.* 2018. Вип. 795. С. 147–154.
- Мельник В., Маринюк В. Людина і технонаука в контексті ноосферної парадигми. *Вісник Львівського національного університету. Серія : Філософські науки.* 2013. № 16. С. 3–18.
- Сова А. Вчення В. І. Вернадського про біосферу та перехід, становлення її в ноосферу. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія : Геологія.* 2013. Вип. 3. С. 47–50.
- Cowie R. H., Bouchet Ph., Fontaine B. The Sixth Mass Extinction: fact, fiction or speculation? *Biological Reviews.* 2022. Vol. 97, Is. 2. P. 640–663. doi: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/brv.12816>.
- Fuchs K., Kozlovsky E. A., Krivtsov A. I., Zoback M. D. Super-Deep Continental Drilling and Deep Geophysical Sounding. Berlin : Springer Verlag, 1990. 452 p.
- Haff P. K. Purpose in the Anthropocene: Dynamical role and physical basis. *Anthropocene.* 2016., Vol. 16. P. 54–60. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2016.07.002>.
- Mendes J. R. Does the Sustainability of the Anthropocene Technosphere Imply an Existential Risk for Our Species? Thinking with Peter Haff. *Social Sciences.* 2021. Vol. 10, Is. 8, P. 1–14. doi: <https://doi.org/10.3390/socsci10080314>.
- Ness N. F., Burlaga L. F., Kurth W. S., Gurnett, D. A. In Situ Observations of Interstellar Plasma with Voyager 1. *Science.* 2013. Vol. 341, Is. 6153. P. 1489–1492. doi : <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1241681>.
- The Biosphere and Noosphere Reader: Global Environment. Society and Change / edited by D. Pitt, P. R. Samson. Oxon : Routledge, 2012. 222 p.
- Lahoz-Beltra R. The 'Crisis of Noosphere' as a Limiting Factor to Achieve the Point of Technological Singularity. *Interdisciplinary Description of Complex Systems.* 2018. Vol. 16, Is. 1. P. 92–109. doi : 10.7906/indecs.16.1.7.
- Zalasiewicz J., Williams M., Waters C. N. et al. Scale and diversity of the physical technosphere: A geological perspective. *The Anthropocene Review.* 2016. Vol. 4, Is. 1. P. 9–22. doi : 10.1177/2053019616677743.

**References (translated & transliterated)**

- Denysyk, H. I. & Volovyk, V. M. (2001). *Narysy z antropohennoho landshaftoznavstva* [Essays on anthropogenic landscape science]. Vinnytsia: HIPANIS [in Ukrainian].
- Denysyk, H. I. (2012). *Antropogenne landshaftoznavstvo* [Anthropogenic landscape science]. Vinnicja: TD «Edel'vejs i K» [in Ukrainian].
- Kavalerov, V. A. (2011). Vid «tehnosfery» do «noosfery»: filofs'ko-osvitnij aspekt [From the "technosphere" to the "noosphere": philosophical and educational aspect. *Visnyk NTUU «KPI». Serija: Filosofija. Psihologija. Pedagogika* [Bulletin of the National Technical University of Ukraine "KPI". Philosophy. Psychology. Pedagogy], 3, 24–28 [in Ukrainian].
- Lavryk, O. D. (2016). *Inzhenerne landshaftoznavstvo: suchasnyj stan i perspektyvy rozvytku* [Engineering landscape science: current state and prospects of development.]. *Naukovi zapysky Vinnycjkogho derzhavnogho pedagoghichnogho universytetu imeni Mykhajla Kocjubynsjkogho. Serija: Gheografija* [Scientific notes of Vinnytsia State Pedagogical University named after Mykhailo Kotsyubynsky. Series: Geography], 28(1–2), 10–17 [in Ukrainian].
- Lavryk, O. D. (2018). *Landshaftna tekhnosfera* [Landscape technosphere]. *Naukovyi visnyk Chernivetskoho natsionalnoho universytetu imeni Yurii Fedkovycha. Serija : Heografija* [Scientific Bulletin of Yuriy Fedkovich Chernivtsi National University. Series: Geography], 795, 147–154 [in Ukrainian].
- Melnyk, V. & Maryniuk, V. (2013). *Liudyna i tekhnouka v konteksti noosfernoi paradyhmy* [Man and technoscience in the context of the noosphere paradigm.]. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu. Serija: Filosofski nauky* [Bulletin of Lviv National University. Series: Philosophical sciences], 16, 3–18 [in Ukrainian].
- Sova, A. (2013). *Vchennia V. I. Vernadskoho pro biosferu ta perekhid, stanovlennia yii v noosferu* [V. I. Vernadskyi's teaching about the biosphere and its transition, its formation into the noosphere.]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Serija : Heolohiia* [Bulletin of Taras Shevchenko Kyiv National University. Series: Geology], 3, 47–50 [in Ukrainian].
- Cowie, R. H., Bouchet, Ph. & Fontaine, B. (2022). The Sixth Mass Extinction: fact, fiction or speculation? *Biological Reviews*, 97(2), 640–663. doi: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/brv.12816>.
- Fuchs, K., Kozlovsky, E. A., Krivtsov, A. I. & Zoback, M. D. (1990). *Super-Deep Continental Drilling and Deep Geophysical Sounding*. Berlin: Springer Verlag.
- Haff, P. K. (2016). *Purpose in the Anthropocene: Dynamical role and physical basis*. *Anthropocene*, 16, 54–60. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2016.07.002>.
- Mendes, J. R. (2021). Does the Sustainability of the Anthropocene Technosphere Imply an Existential Risk for Our Species? Thinking with Peter Haff. *Social Sciences*, 10(8), 1–14. doi: <https://doi.org/10.3390/socsci10080314>.
- Ness, N. F., Burlaga, L. F., Kurth, W. S. & Gurnett, D. A. (2013). In Situ Observations of Interstellar Plasma with Voyager 1. *Science*, 341 (6153), 1489–1492. doi: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1241681>.
- Pitt, D. & Samson, P. R. (eds.) (2012). *The Biosphere and Noosphere Reader: Global Environment. Society and Change*. Oxon: Routledge.
- Lahoz-Beltra, R. (2018). The 'Crisis of Noosphere' as a Limiting Factor to Achieve the Point of Technological Singularity. *Interdisciplinary Description of Complex Systems*, 16(1), 92–109. doi : 10.7906/indcs.16.1.7.
- Zalasiewicz, J., Williams, M., Waters, C. N. et al. (2016). Scale and diversity of the physical technosphere: A geological perspective. *The Anthropocene Review*, 4 (1), 9–22. doi : 10.1177/2053019616677743.

Отримано: 12 жовтня 2022  
Прийнято: 16 листопада 2022





Ukrainian Journal of Natural Sciences  
Issue 2  
Український журнал природничих наук  
Випуск 2

ISSN: 2786-6335 print  
ISSN: 2786-6343 online

УДК 528.88: 332.1:338.43

DOI 10.35433/naturaljournal.2.2023.95-117

## АНАЛІЗ ЗЕМНОГО ПОКРИВУ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ

П. В. Пивовар<sup>1</sup>, О. М. Николіук<sup>2</sup>, П. П. Топольницький<sup>3</sup>

На сьогодні глибоке та широке впровадження геоінформаційних технологій у сферу діяльності людини зумовлено потужним розвитком трьох науково-технічних складових: статистичної, програмно-технічної та космічних технологій. В цій статті на основі ГІС-технологій було проведено аналіз стану землекористування та його зміни на території Житомирської області та як російська агресія проти України вплинула на ці процеси. Було проаналізовано структуру та динаміку основних класів земного покриву Житомирської області за 7 років, визначено основні причини і наслідки таких трендів, проведено аналіз зміни земного покриву. Для досягнення цієї мети було використано набори даних згенеровані на платформі GEE за допомогою продукту GOOGLE/DYNAMICWORLD/V1 і безпосередньо експортовані для подальшої обробки в середовище ArcGIS PRO. Остаточні результати були згенеровані програмній мові R. Відповідно до результатів цього дослідження у 2022 році 52% території Житомирської області знаходились під лісовкритими територіями які складаються з двох категорій: лісів та інших лісовкритих територій. Перша категорія за досліджуваній період залишалася без змін, тоді як друга категорія суттєво зменшувалась у зв'язку із тим що дрова є найбільш доступними із паливних ресурсів для обігріву житла, тому населення почало здійснювати заготівлю деревини у формі вирубування та зачищення старих садків, заліснених чагарників та річок (іригаційних каналів), лісосмуг. Сільське господарство Житомирської області розвивається за рахунок екстенсифікації. Відповідно даних Google Dynamic World у 2022 році 34% території Житомирської області систематично використовуються для вирощування сільськогосподарських культур. За останні сім років

<sup>1</sup> кандидат економічних наук, доцент  
керівник навчально-наукового центру  
космічних та геоінформаційних технологій  
(Поліський національний університет, м. Житомир)  
e-mail: [symon-pivovar@ukr.net](mailto:symon-pivovar@ukr.net)  
ORCID ID: 0000-0001-7668-2552

<sup>2</sup> доктор економічних наук, професор  
завідувач кафедри комп'ютерних технологій  
і моделювання систем,  
(Поліський національний університет, м. Житомир)  
e-mail: [nikolyukolya@gmail.com](mailto:nikolyukolya@gmail.com)  
ORCID ID: 0000-0002-1705-3606

<sup>3</sup> кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри комп'ютерних технологій  
і моделювання систем,  
(Поліський національний університет, м. Житомир)  
e-mail: [topolua@ukr.net](mailto:topolua@ukr.net)  
ORCID ID: 0000-0001-7460-1130



відбулось суттєве зростання площ культивованих угідь на 27%. В структурі земного покриття Житомирської області трав'янистий покрив займає 4,9%, але поступово зменшується. По всіх типах територіальних громад спостерігалось зменшення до 2021 року (в середньому щорічно 10%), тоді як у 2022 році падіння суттєво сповільнилося в сільських та селищних територіальних громадах, а у міських - зупинилося. Така динаміка пов'язана із двома факторами: 1) частина городів сільських домогосподарств засіяли травою у зв'язку з тим, що чоловіки були мобілізовані до ЗСУ в результаті російської агресії, а вирощування трави вимагає найменше людських затрат; 2) російська агресія спричинила нестачу певних продуктів харчування та їх значне удорожчання, при цьому утримання великої рогатої худоби забезпечує харчами сільське домогосподарство, тому у 2022 році більшість приплоду від ВРХ було не реалізовано і залишено для подальшого утримання, в свою чергу збільшення ВРХ вимагає більше кормів, важливим компонентом яких є трава.

**Ключові слова:** землекористування, зміна земного покриття, сільські території, міські території, ГІС-технології.

## LAND COVER ANALYSIS OF TERRITORIAL COMMUNITIES OF ZHYTOMYR REGION USING GIS TECHNOLOGIES

P. P. Pyvovar, O. M. Nikoluk, P. P. Topolnitskyi

Today, the deep and wide implementation of geoinformation technologies in the many fields of human activity is due to the powerful development of three scientific and technical components: statistical, software, technical and space technologies. In this article, based on GIS technologies, an analysis of the state of land use and its changes in the territory of Zhytomyr oblast was carried out, also how russian aggression against Ukraine affected these processes. The structure and the dynamics of the main classes of the land cover of the oblast for past 7 years were analyzed, the main causes and consequences of such trends were determined, and the analysis of changes in the land cover was carried out. According to the results of this study, in 2022, 52% of the territory of the Zhytomyr oblast was under forested areas, which consist of two categories: forests and other forested areas. The first category remained unchanged during the studied period since the government system of protection and reproduction of forest resources functions effectively. While the second category significantly decreased due to the fact that firewood is the most available of the fuel resources for heating building, so the population began to harvest wood in the form of felling and clearing old gardens, forested bushes and rivers (irrigation canals), forest strip. Agriculture of the Zhytomyr oblast is developing due to extensification. According to Google Dynamic World data, in 2022, 34% of the territory of the Zhytomyr oblast is systematically used for growing agricultural crops. Over the past seven years, there has been a significant increase cultivated land by 27%. In the structure of the land cover of the Zhytomyr oblast, the grass cover is 4.9%, but it is gradually decreasing. A decrease was observed for all types of territorial communities until 2021 (10% annually on average), while in 2022 the decline slowed down significantly in rural and village territorial communities and stopped in urban ones. This dynamic is connected with two factors: 1) part of the gardens of rural households were sown with grass due to the fact that men were mobilized to the Armed Forces of Ukraine as a result of russian aggression, and growing grass requires the least human costs; 2) russian aggression caused a shortage of certain food products and their significant increase in price, while keeping cattle provides food for the rural household, so in 2022 most of the offspring from cattle were not sold and left for further maintenance, in turn, the increase in cattle requires more feed, an important component of which is grass.

**Key words:** land-use, land cover change, rural area, urban area, GIS technologies

**Вступ**  
Зміна ґрунтового покриття характеризує зміну певних функціональних характеристик землі, таких як зміна типу ценозу у вигляді трансформації природних біогеоценозів в агроценози і навпаки,

тоді як зміна землекористування полягає у зміні способу використання певної ділянки землі або частота відкритості (культивування) ґрунту тощо. Тому для вивчення глобальних змін навколишнього середовища та сталого розвитку дослідження

земельного покриття (ЗП) та його зміни привертають все більшу увагу в світі. В багатьох країнах світу чисельні групи науковців займаються питаннями дослідження стану ЗП та його зміни в контексті розвитку сільських та міських територій. Аналіз стану та тенденцій зміни земного покриття на сьогодні використовується в наступних сферах соціально-економічної діяльності людини: сільське господарство (класифікація та моніторинг стану розвитку сільськогосподарських культур, ґрунтового покриття, стану забур'яненості тощо); моніторинг стану навколишнього середовища; аналіз та моніторинг наслідків настання природних та антропогенних катастроф, міський та сільський розвиток тощо.

Проте вивчення процесу та тенденцій ЗП та його зміни за допомогою ідентифікації змін земного покриття з використанням зображень дистанційного зондування є одним із важливих методів розуміння та адаптації земельних ресурсів як невеликої громади так і країни в цілому. Також результати даного аналізу є необхідною умовою для глибшого розуміння стану земельного покриття та його зміни і допомоги особам, які розробляють регіональну та національну політику, встановлення цілей покращення в сферах наближених до національної та продовольчої безпеки країни.

Мета статті. Метою дослідження є аналіз стану та зміни земного покриття на основі ГС у Житомирській області протягом 2016-2022 рр. та визначення впливу російської агресії на ці процеси. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання: 1) ГС-аналіз динаміки поширення типів земного покриття (лісистість, рілля, пасовища та сіножаті, поверхневі водойми, забудовані землі) у розрізі сільської та міської місцевості; 2) ГС-аналіз динаміки зміни ЗП в розрізі сільських, селищних та міських територій; 3)

аналіз структури земного покриття в розрізі територіальних громад Житомирської області; 4) аналіз впливу російської агресії на процеси землекористування в Житомирській області.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З початку отримання першого знімку Землі з космосу (1946 р.) розуміння використання та зміни земного покриття еволюціонувало від простоти та абстракції до реалізму та складності. На перших етапах дослідження використання та зміни земного покриття стосувалося вивчення фізичного факту змін, тоді як на сьогодні – виявлення факторів глобальних змін навколишнього середовища та розроблення моделей прогнозування його розвитку. Першими важливими результатами вивчення стану земного покриття (1970-ті), було розуміння того, що процеси які відбуваються на поверхні землі у вигляді зміни земного покриття впливають на формування регіонального клімату (Mohanta, 2021). В подальшому відбувалось розширення напрямків застосування результатів досліджень (стан екосистеми, структура імпорту та експорту тощо). Але найбільше зацікавлення у науковців викликає дослідження впливу зміни ЗП на біотичне різноманіття як на регіональному так і на глобальному рівнях (Sala et al., 2000), негативна динаміка деградаційних процесів ґрунту (Trimble & Crosson, 2000), стан та прогнозування здатності біологічних систем задовольняти потреби людини (Praveen & Gupta, 2019; Vitousek et al., 1997).

В рамках цього дослідження найбільший інтерес представляють роботи Prakasam C., Javed A. та Khan I., Mark M. та Kudakwashe M. Prakasam C. досліджував динаміку зміни земного покриття у Кодайканал Талук, Таміл Наду протягом 40 років, в результаті він виявив значне збільшення забудованих та культивованих земель, в той же час площі під лісом та

водоймами зменшилися (Prakasam, 2010). Javed A. та Khan I. в рамках вивчення гірничодобувної промисловості Індії досліджували зміну процесів землекористування з 2001 по 2010 роки. Дослідниками було встановлено факт значного зменшення лісовкритих площ, культивованих земель та водойм, в той же час площі забудованих земель, пустирів і необроблених земель збільшилася, при цьому основним фактором таких змін була антропогенна діяльність (Javed & Khan, 2012). Mark M. та Kudakwashe M. вивчали зміни процесів землекористування в районі Шуругві в провінції Мідлендс Зімбабве за період з 1992 по 2002 роки і як результат виявили значне збільшення культивованих площ за рахунок зменшення площі заліснених територій. Такі зміни вони пояснювали «Програмою земельної реформи та переселення». Значна площа заліснених територій була вирубана для різних видів діяльності, пов'язаних із сільським господарством, використання деревини для опалювання будинків, матеріалу для будівництва будинків і загонів для худоби тощо (Mark & Kudakwashe, 2010). Cegielska K та інші провели подібне дослідження для Угорщині та Польщі за 2000 та 2012 роки, в результаті було виявлено тенденції до зменшення сільськогосподарських угідь та збільшення забудованих. При цьому зміни в Польщі були більш інтенсивними, ніж в Угорщині (Cegielska. et al., 2018). Цікаві результати були отримані групою італійських та австрійських науковців, які дослідили динаміку змін земного покриву Європейського союзу з 2000 по 2018 рік. В загалом було виявлено зменшення сільськогосподарських угідь, за рахунок інтенсифікації сільського господарства, відповідно в цей період відбулось збільшення пасовищ, сінокосів, луків та незначне зростання площі забудованих земель (Schirpke & Tasser, 2021). Глибокий аналіз динаміки зміни земного покриву

та його впливу на економічну та екологічну систему здійснила команда науковців з Бангладешу. Для аналізу вони користувалися знімками з угруповання космічних апаратів Landsat за період з 1999 по 2019 роки. В результаті проведеного наукового дослідження було виявлено динаміку зменшення площ сільськогосподарських угідь у зв'язку із збільшенням забудованих територій, лісів, водойм, солончаків (Hoque et al., 2022).

Важливим кроком в розвитку аналізу земного покриву та його зміни було зроблено командою вчених із Сполучених Штатів Америки, які підготували еталонний набір даних земного покриву, які в подальшому були використані в багатьох проектах по класифікації земного покриву (Stehman et al., 2021). Як результат, такі дослідження були використані багатьма науковими командами з різних країн світу для розробки достовірних моделей класифікації та, загалом, отримати більше довіри до супутникових зображень. Визначальне наукове дослідження для розвитку ГІС-технологій в сфері розробки прогнозів та сценаріїв майбутніх змін у земному покриві було зроблено командою вчених з Бразилії, які розробили сценарні прогнози змін у земному покриві під впливом розвитку сільського господарства в районі басейну річки Прата до 2033, 2050, 2080 та 2100 років. Розроблені сценарії зміни структури земного покриву вказують на розвиток агровиробництва та зменшення водно-болотних угідь, саван, прибережних лісів, сезонних лісів та вологих луків (da Cunha, 2021). Португальські вчені провели довгостроковий аналіз земного покриву сільських територій на основі знімків з космічних апаратів Landsat за період з 1995 по 2015 роки. Команда на основі відібраних навчальних даних застосувала статистичний метод кластеризації К-середніх спектральних сигнатур для кожного класу земного покриву та

досягла точності 76%, при цьому така низька точність у довгостроковій перспективі забезпечила розуміння динаміки основних змін земного покриття (Viana et al., 2019).

Удосконалення продуктів аналізу земного покриття та його зміни (збільшення роздільної здатності карт) на пряму залежить від роздільної здатності супутникових даних, включаючи радіолокаційні сенсори. Найбільш затребуваними продуктами в сфері використання та зміни земного покриття є набір даних Національного управління з авіації та дослідження космічного простору (NASA) MCD12Q1 з роздільною здатністю 500 м (2001–2018) (Sulla-Menashe, 2022), набір даних Європейського космічного агентства (ESA) Global Land Service (GLS) Land Cover 100 м (2015–2019) (Buchhorn et al., 2020) і GlobLand30 (2010) (Chen et al., 2015). Не дивлячись на широкі потреби цих продуктів на національному та глобальних рівнях, вони мають один суттєвий недолік – їх просторова роздільна здатність не дає можливості провести моніторинг незначних за площею ділянок, які є важливими для моніторингу та аналізу місцевого землекористування (присадибні ділянки сільських домогосподарств, лісосмуги, вимоки, болота тощо). Одним із перших хто взявся за нівелювання цього недоліка є Європейське космічне агентство (ESA). Запроваджена ESA програма Copernicus дає можливість отримати оптичні та радарні дані із супутників Sentinel (роздільна здатність 10–20 м) з 2014 року на умовах відкритого доступу. Завдяки прогресу в алгоритмах машинного навчання та платформах хмарних обчислень для спостереження Землі, таких як Google Earth Engine (GEE) (Gorelick et al., 2017) і openEO (Schramm M., 2021), супутники Sentinel уможливили створення великомасштабних карт земного покриття з роздільною здатністю 10 м (Phiri, 2020). І як результат у 2021 році було

опубліковано три глобальні 10-метрові карти земного покриття на основі КА Sentinel: Google Dynamic World (DW) (Prakasam, 2010), ESA World Cover 2020 (WC) і Esri 2020 Land Cover (Esri) (Zanaga et al., 2021). Спільною характеристикою всіх трьох продуктів є багаточасове бачення, при цьому суттєвою відмінністю є те що WC і Esri оновлюються один раз на рік із суттєвим часовим лагом (до 1 року), тоді як DW оперативніше надає карти земного покриття майже в реальному часі (із часовим лагом в 7 днів).

Потрібно відмітити, що глибока та широка імплементація геоінформаційних технологій в сфері людської діяльності обумовлена потужним розвитком трьох науково-технічних компонент: статистична компонента, програмно-технічна компонента та космічні технології.

Статистична компонента. Поглиблення розвитку ІС-технологій на пряму пов'язано із імплементацією в процес аналізу геоінформаційної інформації статистичних методів аналізу великих масивів даних. Особливо важливу роль відіграють такі методи як: машинне навчання під контролем (з викладачем), неконтрольоване машинне навчання (без викладача) (Halder et al., 2011; Talukdar et al., 2020); машинне навчання на основі опорних векторів (SVM) (Adulaimi A. A., 2021), метод випадкового ліса (RF) (Sahani & Ghosh, 2021), відображення спектрального кута (SAM) (Talukdar et al., 2020), нечітке адаптивне відображення з теорією резонансу (Fuzzy ARTMAP), відстань Махаланобіса (MD), радіальна базисна функція RBF), дерево рішень (DT), багатословоє сприйняття (MLP), наївний байєсівський класифікатор (MLC) і нечітка логіка, алгоритми нечітких С-середніх, алгоритм К-середніх, ISODATA (ітераційні самоорганізуючі дані) тощо. (Halder et al., 2011; Hashem & Balakrishnan, 2015).

Програмно-технічна компонента є фундаментальною основою обробки та

інтерпретації геоінформації, яка створюється в результаті збору, обробки та публікації географічних або просторових даних з використанням комп'ютеризованої системи. Системи можуть включати комп'ютери та мережі, стандарти та протоколи для використання та обміну даними між користувачами в межах ряду різних програм. Типовими застосуваннями є реєстрація землі, гідрологія, кадастрові дослідження, оцінка землі, планування або спостереження за навколишнім середовищем. Геодані мають багато різних форм, наприклад карти чи зображення, зроблені з повітря чи космосу, тобто дані дистанційного зондування. Геодані можуть зберігатися в базі даних, яка може мати спеціальні розширення для зберігання, обробки та маніпулювання просторовими даними. Геоінформація – це результат, отриманий шляхом аналізу даних за допомогою спеціальної комп'ютерної програми, яка називається «геоінформаційна система» або ГІС. Середовище, в якому працює ГІС (машини, люди, мережі), називається «системою просторової інформації», яка розроблюється та створюється для відповіді на потреби людей або організацій у просторовій інформації (Siebritz et al., 2022).

Космічні технології. На сьогодні більшість країн розвивають власні космічні програми для підтримки прийняття управлінських рішень в сфері комунікацій, промисловості, національної безпеки та вивчення зміни клімату (Economic, Social, and ..., 2022). В результаті такої діяльності на навколосезонній орбіті Землі, станом на 2021 рік, знаходилось 7,5 тис. активних космічних апаратів, що на 28% більше, ніж у 2020 році (Mohanta, 2021). Такий активний розвиток та застосування космічних технологій у всіх сферах господарської діяльності є одним із важливих інструментів досягнення цілей глобального розвитку за рахунок надання оперативної та високоякісної інформації (Plugar et al., 2021).

## Матеріал і методи

Територія дослідження. Житомирська область знаходиться на півночі України, в межах Поліської низовини, на півдні в межах Придніпровської височини. Адміністративний центр – місто Житомир. До складу області входять 4 райони: Житомирський, Бердичівський, Коростенський, Новоград-Волинський. Має 5 міст обласного значення (Бердичів, Житомир, Коростень, Малин, Новоград-Волинський), 7 міст районного значення (Андрушівка, Баранівка, Коростишів, Овруч, Олевськ, Радомишль, Чуднів), 43 селища міського типу; 1619 сільських населених пунктів. Населення – 1 231 239 осіб. Площа 29 832 км<sup>2</sup>. В результаті реформи децентралізації на території області створено 66 територіальних громад, з них 12 – міських, 22 – селищних та 32 сільських (рис.1). Відповідно до Закону України «Про місцеве самоврядування» територіальна громада – жителі, об'єднані постійним проживанням у межах села, селища, міста, що є самостійними адміністративно-територіальними одиницями, або добровільне об'єднання жителів кількох сіл, селищ, міст, які мають єдиний адміністративний центр (Про місцеве самоврядування в Україні..., 1997). Відповідно до статті 140 Конституції України територіальною громадою є житель села, селища, міста або добровільне об'єднання жителів кількох сіл у сільську громаду (Constitution of Ukraine, 1996). Станом на 2021 рік в Україні налічується 1469 громад, утворених шляхом об'єднання сіл, селищ і міст. Територіальна громада, адміністративним центром якої є місто, є міською територіальною громадою, центром якої визначено селище міського типу – селищною, центром якого визначено село – сільською. У дослідженні під міськими територіями будемо розуміти території міських територіальних громад, а під

сільськими – території сільських та селищних територіальних громад.

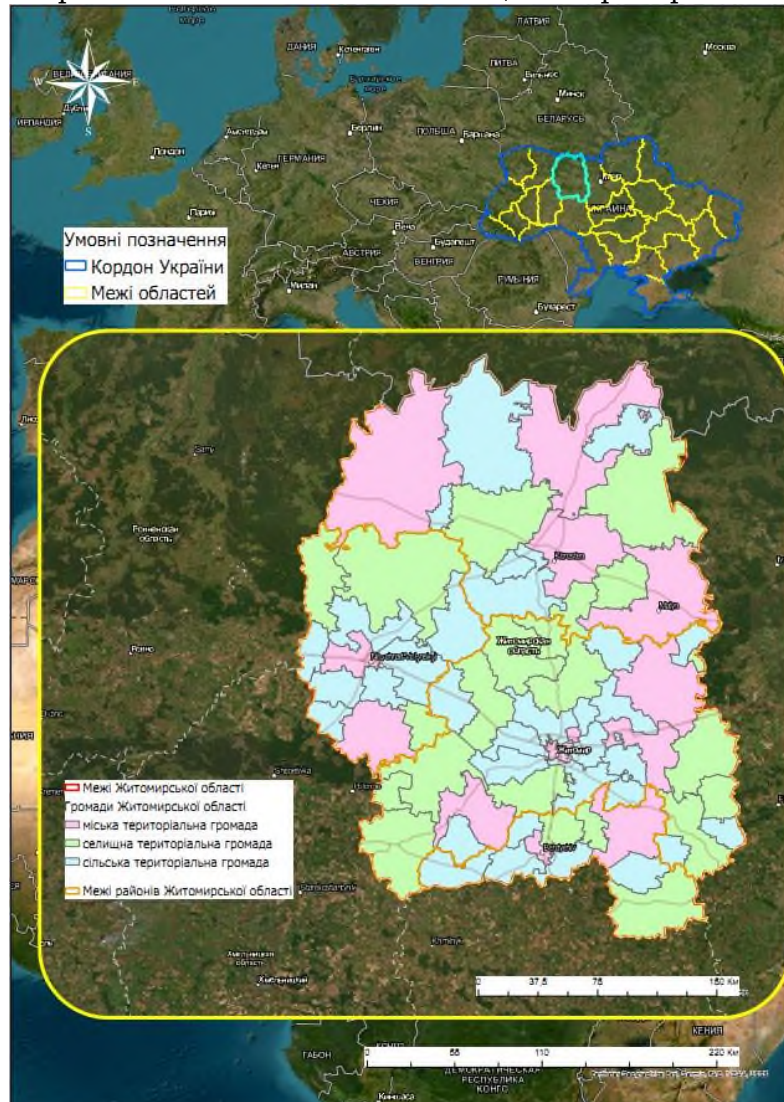


Рис. 1. Географічне положення України та її адміністративно-територіальний поділ

Джерела даних. В цьому дослідженні використано автоматизований підхід для глобально узгодженої класифікації земельного покриття із високою роздільною здатністю в масштабі часу близькому до реального, використовуючи глибоке навчання на зображеннях KA Sentinel-2 з просторовим розрізненням 10 м, розроблений командою обробників компанії Google та науковців з National Geographic Society, Boston University, World Resources Institute (Brown et al., 2022). Набори даних згенеровані на платформі GEE за допомогою продукту

GOOGLE/DYNAMICWORLD/V1 та безпосередньо експортовані для подальшої обробки в ArcGIS PRO та R за період з 2016 по 2022 роки. Продукт Dynamic World V1 дає можливість отримати інформацію для дев'яти класів поверхні Вода, Деревя, Трава, Затоплена рослинність, Культури, Чагарники, Забудована територія, Гола земля, Сніг і Лід.

Класифікацію земельного покриття Житомирської області за методологією Google Dynamic World станом на 2022 рік представлено на рис. 2.



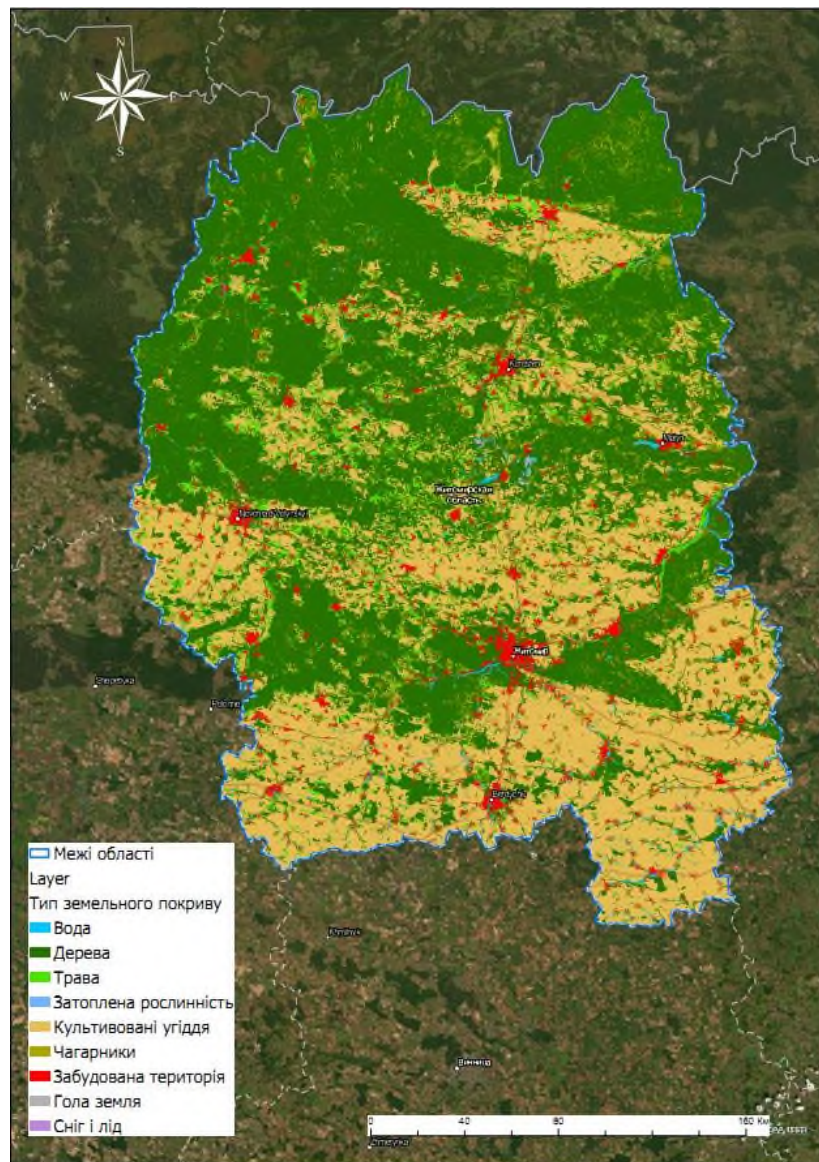


Рис. 2. Класифікація земельного покриття Житомирської області за методологією Google Dynamic World

### Результати та обговорення

Аналіз земного покриття у 2022 році (рис.3) свідчить про те що 52% площі Житомирської області становлять лісовкриті території, які зосереджені в основному в північній та центральній частині області вздовж річки Тетерів. При цьому сільськогосподарські землі, в основному зосереджені в трьох локаціях: 1) південна частина області (Бердичівський район); 2) центральний

пояс шириною 40-60 км; 3) на півночі – Овруцький кряж. Десяту частину площі області займають чагарники та трава, які в основному зосереджені у вздовж доріг та водних об'єктів, частка яких становить 0,63%. Частка забудованих земель становить 3,7% вони рівномірно розподілені на всій площині області з значною концентрацією в містах обласного значення.

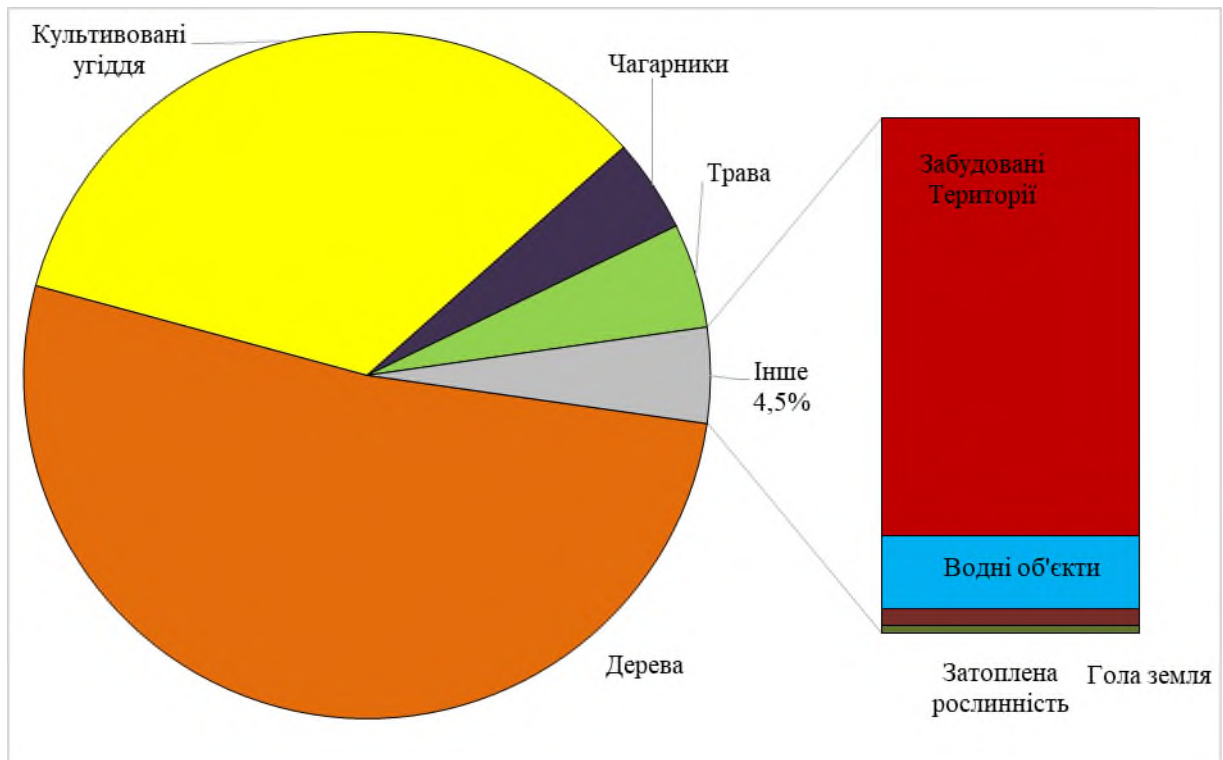


Рис. 3. Структура земного покриття Житомирської області у 2022 році

Потрібно відмітити, що структура земельного покриття отримана в результаті обробки супутникових знімків та даних офіційної статистики дещо відрізняються (табл.1). За допомогою ГС-технологій неможливо виокремити всі землі певного класу в рамках офіційної статистики, так як супутники класифікують земельні ділянки виключно за відбивними властивостями поверхні Землі у певному спектральному діапазоні, тоді як офіційна статистика базується на юридичному статусі земельних ділянок. Нижче наведений перелік основних відмінностей по найважливіших класах земного покриття.

1) Сільськогосподарські землі. Відповідно методології Dynamic World сільськогосподарські землі представлені такими типами як культивовані угіддя та трава. В свою чергу відповідно до офіційної методики збору статистичної інформації в Україні дані про сільськогосподарські землі включають три категорії: 1) рілля, 2) перелоги і 3) багаторічні насадження, сіножаті, пасовища. В результаті порівняння

класу культивовані угіддя (землі які протягом року піддавалися культивуванню) від Dynamic World та Орна земля від офіційної статистики ми бачимо відмінність в 1,7%. Це пояснюється тим що статистичне управління збирає таку інформацію лише у частини сільськогосподарських товаровиробників (сільськогосподарські підприємства та сільські домогосподарства) і в подальшому розповсюджує ці дані на всю область. Відмінність між класами трава від Dynamic World та перелоги від офіційної статистики пояснюється тим що до класу трава входять всі землі, на яких зростала трава (пасовища, сіножаті, луки, земельні ділянки під травою біля річок, лісів тощо) тоді як до класу перелоги у офіційній статистиці входять виключно земельні ділянки під травою призначені для сільськогосподарського виробництва (продаж сіна, силосу, використання на корм сільськогосподарських тварин). Також відповідно офіційної статистики до сільськогосподарських площ включено багаторічні насадження, сіножаті,



пасовища тоді як відповідно Dynamic World багаторічні насадження

віднесено до дерев, а сіножаті і пасовища до трави.

Таблиця 1.

Порівняння структури класів рослинності Житомирської області у 2021 році на основі статистики Google Dynamic World та офіційної статистики України

Type	Google Dynamic World – 2021, %	Official statistics – 2021, % [0]	
Культивовані угіддя	39,4	Орані землі	37,7
Трава	5,4	Перелоги	2,1
		Багаторічні насадження, сіножаті, пасовища	10,8
Дерева	45,3	Ліс	37,7
Забудовані території	5,5	Забудовані землі	3
Чагарники	3,3		
Гола земля	0,1	Відкриті землі	1,3
Затоплена рослинність	0,1	Водно-болотні угіддя	3,4
Вода	0,9	Відкриті водойми	1,6
		Інше	2,4
Разом	100	Разом	100

2) Лісовкриті території. Відповідно методології Dynamic World визначається будь-яка територія, яка включає первинні та вторинні ліси, а також великі насадження, тоді як офіційна статистика подає території, які зареєстровані в Державному агентстві лісових ресурсів України, тобто промислові сади, парки, тимчасово заліснені території в результаті припинення ведення сільськогосподарської діяльності тощо в цих даних не враховано, що в результаті і формує похибку в 7,6 %.

3) Забудовані землі. Реєстр забудованих земель ведеться Державним земельним кадастром України, до даного класу відносяться землі на яких розташовані будівлі: одно- і двоповерхові; з трьома і більше поверхами; промислові; відкриті розробки, кар'єри, шахти; будівлі, які використовуються в комерційних цілях; споруди громадського призначення; змішаного використання; які використовуються для транспорту та зв'язку (дороги, залізниці, аеропорти та інші); які використовуються для технічної інфраструктури (для видалення відходів, водозабезпечення

та очищення стічних вод, для виробництва та розподілення електроенергії); які використовуються для відпочинку та інші відкриті землі (зелені насадження загального користування, кемпінги та будинки відпочинку, зайняті поточним будівництвом і відведені під будівництво, під гідротехнічними спорудами, вулицями, площами, набережними, кладовищами). В той же час, відповідно методології Dynamic World до забудованих земель віднесено забудови низької та високої щільності, дороги та міські відкриті простори. Не дивлячись, на те що всі типи забудованих земель за методологією Dynamic World відповідають типам офіційної статистики (яких є набагато більше), частка забудованих земель за методологією Dynamic World на 1,5 % більше ніж звітує офіційна статистика. Така відмінність може свідчити, що ці 1,5 % або 44,4 тис. га є незареєстрованими забудованими землями.

4) Водні об'єкти. Важливою особливістю методології Dynamic World є використання супутникових знімків з роздільною здатністю 10 м, тобто площа

проекції піксела на поверхню Землі дорівнює 100 м<sup>2</sup>, що дуже часто є недостатнім при ідентифікації малих річок, струмків та каналів. Враховуючи це потрібно відмітити значну похибку при порівнянні цих даних з даними офіційної статистики. При цьому, на нашу думку, стан (площа) великих річок та водойм адекватно описує динаміку змін водних об'єктів.

Одним із важливих елементів аналізу земельного покриття будь-якої території є дослідження динаміки змін (табл.2) в розрізі класів рослинного покриття Житомирської області. За досліджуваний період найбільші зміни 259 тис. га або майже на третину,

відбулись в такому типі земного покриття як культивовані угіддя, таке збільшення відбувались в основному за рахунок таких класів як трава (-112 тис. га або -46%), дерева (-122 тис. га або -1%) та чагарники (-27 тис. га або -39%). Заслуговує на увагу поступове збільшення водних об'єктів на 2 тис. га або на 8%, що виступає базисом для збільшення культивованих угідь, так як дуже часто сільгоспвиробники використовують зрошуване землеробство. Фактом покращення водного режиму Житомирської області є збільшення такого типу класів ґрунтового покриття як затоплена рослинність на 3,8 тис. га або на 53%.

Таблиця 2.

Динаміка зміни земного покриття Житомирської області на основі Google Dynamic World

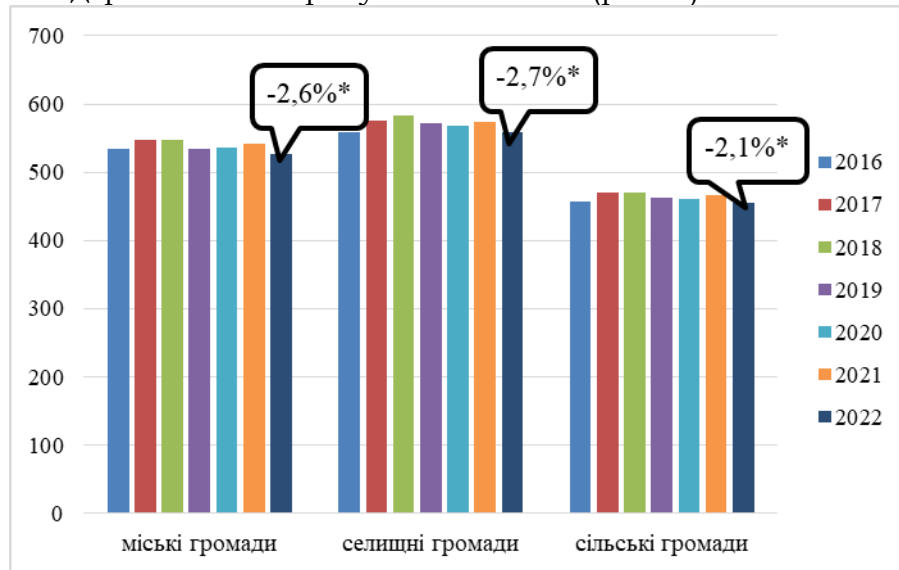
Тип \ Рік	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022*	Зміна 2016/2022	
									тис. га
Гола земля, тис. га	4,1	2,9	3,3	5,2	5,1	3,6	4,4	6,7	7,6
Зміна, %	-	-28,2	11,6	59,8	-2,8	-29,7	23,1	-	-
Забудовані території, тис. га	117,8	115,6	115,2	114,3	110,3	112,8	108,1	-15,5	-8,2
Зміна, %	-	-1,8	-0,3	-0,8	-3,5	2,3	-4,2	-	-
Культивовані угіддя, тис. га	777,6	857,4	907,5	921,9	950,0	969,5	1012,4	259,4	30,2
Зміна, %	-	10,3	5,8	1,6	3,0	2,1	4,4	-	-
Затоплена рослинність, тис. га	1,3	1,2	1,3	1,3	1,3	1,1	1,9	3,8	53,1
Зміна, %	-	-4,1	8,8	-3,9	-0,2	-15,2	80,6	-	-
Трава, тис. га	270,5	247,7	206,8	191,3	160,8	153,7	145,4	112,0	-46,2
Зміна, %	-	-8,4	-16,5	-7,5	-16,0	-4,4	-5,4	-	-
Чагарники, тис. га	214,3	123,8	105,9	137,8	148,7	119,4	130,3	-26,7	-39,2
Зміна, %	-	-42,2	-14,5	30,1	7,9	-19,7	9,1	-	-
Дерева, тис. га	1551,3	1594,6	1601,3	1569,3	1565,8	1582,0	1537,5	121,6	-0,9
Зміна, %	-	2,8	0,4	-2,0	-0,2	1,0	-2,8	-	-
Вода, тис. га	17,2	17,5	18,8	18,7	17,7	18,5	18,6	2,1	8,3
Зміна, %	-	2,1	7,3	-0,8	-5,2	4,3	0,7	-	-
Разом, тис. га	2954,0	2960,7	2960,1	2959,8	2959,5	2960,6	2958,6	-4,0	0,2
Зміна, %	-	0,23	0,02	0,01	0,01	0,03	-0,1	-	-

Станом на 25 жовтня 2022 року

Потрібно відмітити що динаміка зміни кожного з класів земного покриття є унікальною і потребує детального вивчення, як на рівні області в цілому так і на рівні територіальних громад різних типів (міських, селищних та сільських).

Заліснені території – площа земного покриття будь-якої території, на якій частка деревного покриття

становить не менше 10 %. До таких територій належать ліси, полезахисні лісосмуги, сільськогосподарські сади, лісопарки. Відповідно даних Google Dynamic World у 2022 році, 51,2% території Житомирської області є залісненою. З цих територій 34% припадали на міські територіальні громади, 36% на селищні і 30% на сільські (рис. 4).

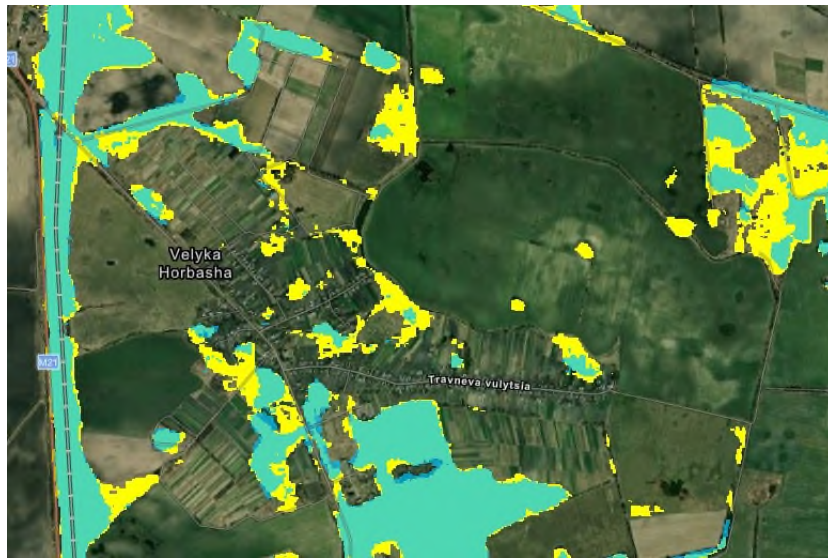


\* відношення значення показника 2022 року до 2021 року, у відсотках

Рис. 4. Площа заліснених територій Житомирської області у 2022 році за даними Google Dynamic World

Станом на 2022 рік спостерігається суттєве зменшення заліснених територій області у всіх типах територіальних громад приблизно на 3%. Таке зменшення пов'язано із російською агресією проти України, яка негативно вплинула на ціну та стабільність поставок основних ресурсів для опалення житла (дрова, газ, електроенергія). Враховуючи те що дрова є найбільш доступними із цих трьох ресурсів для опалення житла, тому населення почало здійснювати

заготівлю деревини у формі вирубування та зачищення старих садків, заліснених чагарників та річок (іригаційних каналів), лісосмуг (рис. 5). Враховуючи все вище представлене – відбулось зменшення заліснених територій в загальній структурі класів земельного покриття, при цьому на території міських територіальних громад зменшення становить 2,8 відсоткових пунктів, селищних – 3,1, сільських – 2,6.



Жовтий - заліснені території 2021 року; Голубий - заліснені території 2022 року  
 Рис. 5. Приклад зміни лісистості у 2022 році порівняно з 2016 р.  
 (На прикладі села Велика Горбаша, Черняхівська селищна територіальна громада, Житомирська область)

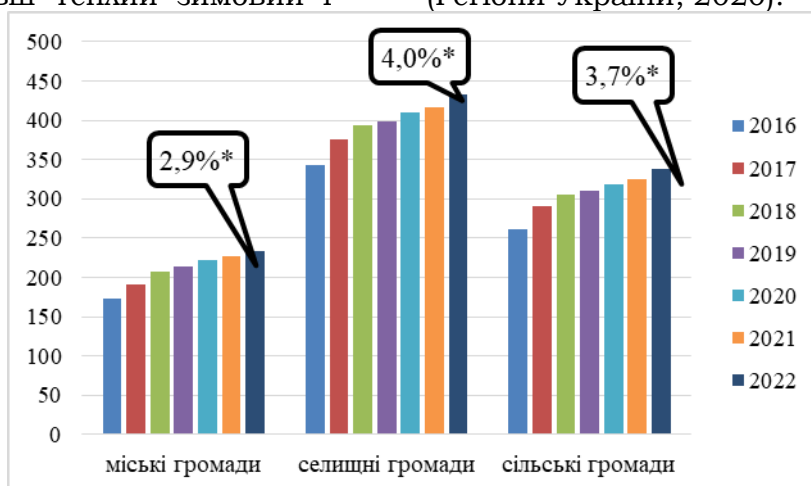
Культивовані угіддя – угіддя на яких систематично вирощуються сільськогосподарські культури з метою отримання прибутку або забезпечення продовольством членів сільського домогосподарства. Тобто це земельні угіддя, що систематично обробляються і використовуються для посіву різноманітних сільськогосподарських культур для одержання сільськогосподарської продукції. Ці угіддя є головним засобом у сільськогосподарському виробництві як сільськогосподарських підприємств так і сільських домогосподарств. Відповідно даних Google Dynamic World у 2022 році 34,2% території Житомирської області систематично використовуються для вирощування сільськогосподарських культур. З цих територій 23% припадали на міські територіальні громади, 43% на селищні і 33% на сільські. Відповідно рис. 6 за останні сім років відбулось суттєве зростання площ культивованих угідь на 30%. Таке зростання відбувалось в основному за рахунок зменшення поголів'я великої рогатої худоби як в Житомирській області так і в Україні в цілому, яке вплинуло на трансформацію трав'янистих агроценозів в культивовані (рис. 7).

При цьому найбільше зростання культивованих угідь припадало на міські територіальні громади – на 37,2%, що в свою чергу пов'язано із логістичними витратами підприємств на перевезення товарів та обладнання: великі агрокомпанії прагнуть інвестувати в ті території де найкращі дороги та присутня залізнична станція, що є неодмінним атрибутом всіх міських територій.

Представлені зміни в сторону експансії сільського господарства також пов'язані із зміною клімату. Так дослідження (Herasymchuk et al., 2018; Горобець і Євпак, 2017) проведені за період з 2000 по 2015 рр. демонструють що на території Житомирської області в усі пори року спостерігається перевищення температурних показників порівняно з нормою: взимку – на 1,3-2,5°C, весною – на 1,0-1,9°C, влітку – на 0,8-2,4°C, восени – на 0,5-1,7°C. Отже, спостерігається тенденція до зростання середньомісячних температур, які свідчать про зміну клімату у бік потепління. Причому потепління більш відчутне у зимові місяці. В середньому за 2000-2015 рр. річна температура по області збільшилась на 1,8 °C. В свою чергу потепління впливає на

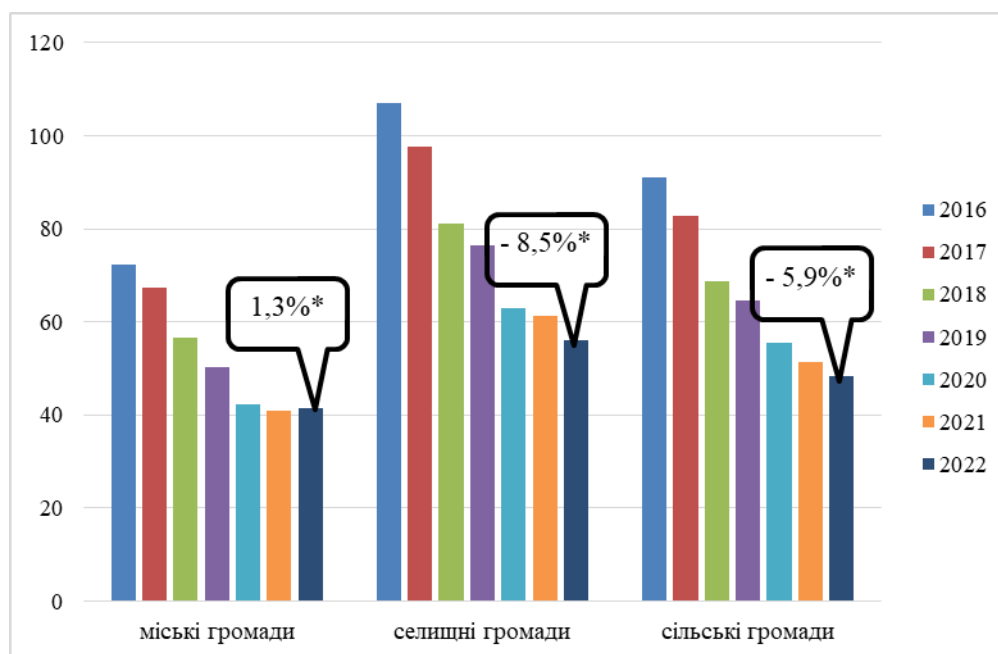
активізації процесів розкладання гумусу в грантах та підвищення ефективності внесення добрив, продуктивності фотосинтезу внаслідок збільшення вмісту вуглекислого газу в атмосфері та подовження сезону вегетації на всій території області. В зоні Полісся за останні 10 років сформувався більш теплий зимовий і

ранньовесняний періоди які сприятимуть росту і розвитку південних, нетипових для цих територій культур: соя (збільшення в 6 разів у 2020 у порівнянні із 2010), соняшник (збільшення у 15 разів), ріпак (збільшення у 2,5 рази), кукурудза (збільшення у 15 разів) (Регіони України, 2020).



\* відношення значення показника 2022 року до 2021 року, у відсотках

Рис. 6. Площі культивованих угідь Житомирської області у 2022 році за даними Google Dynamic World



\* відношення значення показника 2022 року до 2021 року, у відсотках

Рис. 7. Площа під травою Житомирської області у 2022 році за даними Google Dynamic World

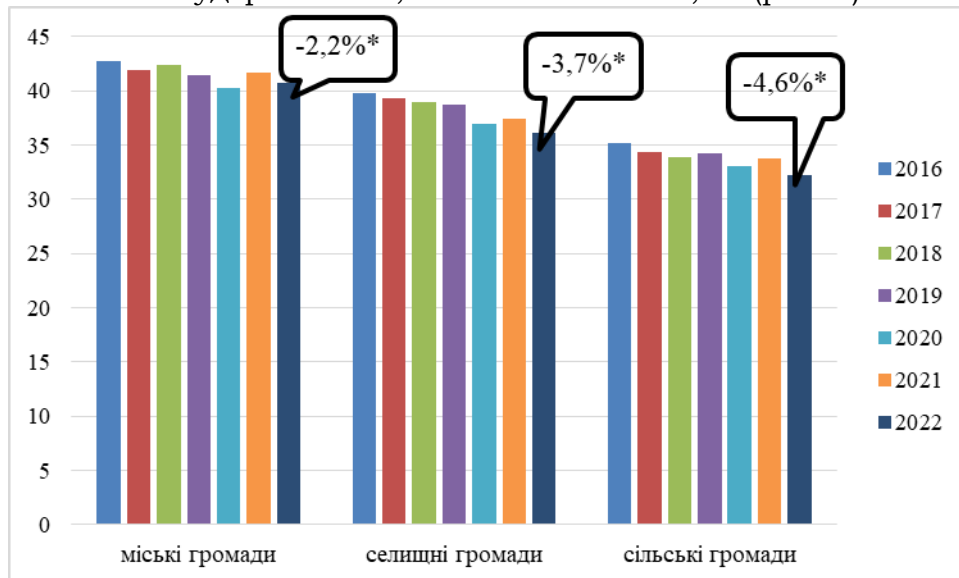
Трав'янистий покрив є важливим компонентом як аграрних так і екологічних агроценозів та є одним із

індикаторів розвитку тваринництва в регіоні. В структурі земного покриву Житомирської області трав'янистий

покрив займає 4,9%, але поступово зменшується. По всіх типах територіальних громад спостерігалось зменшення до 2021 року (в середньому щорічно 5 %), тоді як у 2022 році падіння суттєво сповільнилося в сільських та селищних територіальних громадах, тоді як у міських - зупинилося (див. рис. 7). Така динаміка пов'язана із двома факторами: 1) частина городів сільських домогосподарств засіяли травою у зв'язку з тим, що чоловіки були мобілізовані до ЗСУ в результаті російської агресії, а вирощування трави вимагає найменше людських затрат; 2) російська агресія спричинила нестачу певних продуктів харчування та їх значне удорожчання,

при цьому утримання великої рогатої худоби забезпечує харчами сільське домогосподарство, тому у 2022 році більшість приплоду від великої рогатої худоби (ВРХ) було не реалізовано і залишено для подальшого утримання, в свою чергу збільшення ВРХ вимагає більше кормів, важливим компонентом яких є трава.

Забудовані землі Житомирської області становлять 3,7% у 2022 році, при цьому спостерігається суттєве зменшення на 9,7% по зрівнянню з 2021 роком (див. табл. 2). Якщо розглянути зменшення в розрізі міських та сільських громад то можна відмітити що в міських громадах падіння становить -2,9% тоді як в сільських - 5,1% (рис. 8).



\* відношення значення показника 2022 року до 2021 року, у відсотках

Рис. 8. Площа забудованої території Житомирської області у 2022 році за даними Google Dynamic World

Таке суттєве зменшення пояснюється закриттям значної кількості підприємств на міських територіях, території яких починають заростати чагарниками та травою, тоді як на сільських територіях відбувається різке руйнування старих колгоспних будівель, таких як закинуті комплекси для утримання сільськогосподарських тварин, сховища для сільськогосподарської продукції тощо (рис.9).

В загальній структурі земельного покриття відкриті водойми у 2022 році займали 0,63% при чому за досліджуваний період спостерігається поступове збільшення площі відкритих водойм на 8,3%. 24% відкритих водойм припадає на міські території, 41% - на селищні і 35% - на сільські. Потрібно відміти що найбільше збільшення площі відкритих водойм спостерігалось на міських територіях 13%, в той же час зростання в селищних та сільських громадах

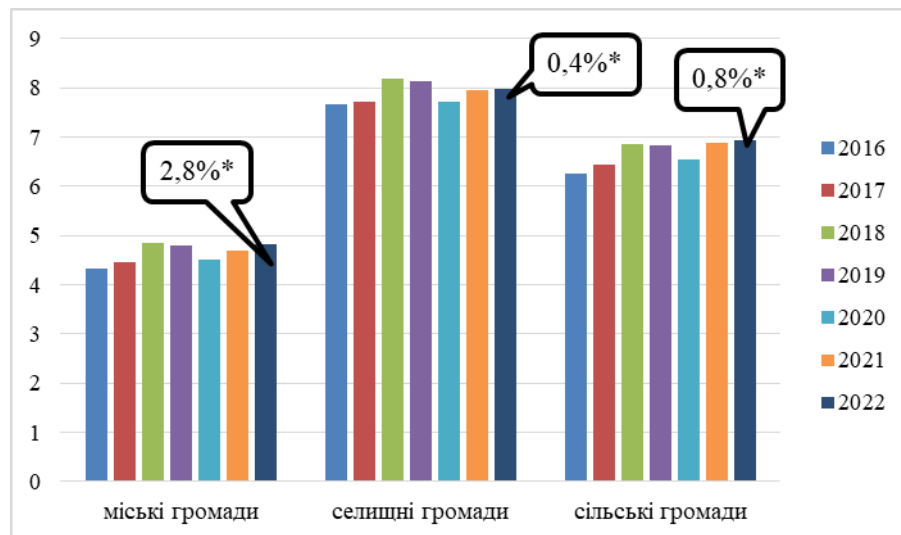


становило 4% та 7% відповідно (Рис.10). Таке поступове нарощення водного потенціалу області сприяє як зміні структури посівних площ, так і зміні (вдосконаленню) технологій вирощування сільськогосподарських

культур за запровадження системи зрошення, відмова від глибокої оранки, імплементація технологій Notill та Stripill. товаровиробниками:



Рис. 9. Трансформація забудованої території Житомирської області з 2016 по 2022 рік за даними Google Dynamic World



\* відношення значення показника 2022 року до 2021 року, у відсотках

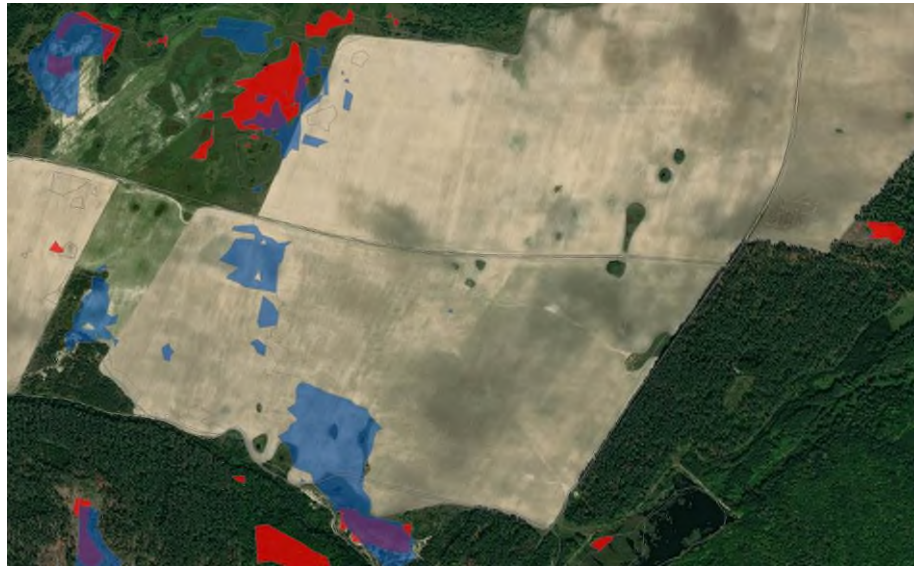
Рис. 10. Площа водяних об'єктів Житомирської області у 2022 році за даними Google Dynamic World

До класу кущі та чагарники відносяться невелика деревна рослина, зазвичай з кількома стеблами, які ростуть не високо від землі (25-50 см). Чіткої різниці між маленьким деревом і

великим чагарником немає. Деякі види можуть мати форму куща, коли ростуть у відкритих умовах, але розвиваються у невелике дерево у вологих захищених місцях. До

чагарників на території Житомирської області можна віднести: закинуті сільськогосподарські ділянки, молодий ліс від 3 до 7 років, заболочені ділянки 3-7 років після очищення. Чагарники осінню та весною перетворюючись на сухостій дуже часто стають причинами пожеж. Кущі та чагарники у 2022 році становили 4,4% від всіх територій, при

цьому спостерігалось суттєве зменшення за досліджуваний період на 39%, або на 27 тис. га. Таке суттєве зменшення пов'язано в першу чергу з експансією сільського господарства. Сільськогосподарські товаровиробники поступово розчищають та захоплюють попередньо закинуті або заболочені сільськогосподарські ділянки (рис.11).



\*Блакитні полігони – чагарники у 2016, червоні – чагарники у 2022  
Рис. 11. Приклад трансформації площ під чагарниками Житомирської області з 2016 по 2022 рік за даними Google Dynamic World

В процесі аналізу зміни земного покриву важливим є не тільки виявлення факту та обсягу змін, але й напрямів змін, тобто в які типи земельного покриву були трансформовані через певний період

часу. В процесі проведення дослідження було праналізовано як класи земельного покриву 2016 року трансформувалась в класи 2022 року (Табл. 3).

Таблиця 3.  
Матриця перерозподілу земельного покриву Житомирської області з 2016 по 2022 роки, %

з 2016 у 2022	Гола земля	Забудовані території	Культивовані угіддя	Затоплена рослинність	Трава	Чагарники	Дерева	Вода
Гола земля	13,9	0,1	0	0,7	0	1	0	1,3
Забудовані території	0,8	89,6	0,2	0,1	1	5,8	0,5	0,5
Культивовані угіддя	34,9	3,4	77,7	6,2	16,2	10,5	0,6	0,8
Затоплена рослинність	0	0	3,3	9	0	3,4	0	2,2
Трава	13,3	0,6	17,8	22,4	56,9	15,1	1,1	2,2
Чагарники	9	1,2	0,3	3,9	10,2	34,7	1,7	0,3
Дерева	26,3	5,1	0,7	52,7	15,7	105,4	96,1	13,5
Вода	1,8	0,1	0	4,9	0,1	23,9	0	79,2



Відповідно аналізу змін земного покриву 96% заліснених територій залишилися без змін, а інші 4% були трансформовані в: 1,7% - чагарники; 1,1% - трава; 0,6% - культивовані угіддя; 0,5% - будівлі. Такі результати свідчать про те, що державна система захисту та відтворення лісових ресурсів працює ефективно. При цьому основні трансформаційні процеси відбуваються із залісненими територіями, які не підлягають державному захисту: заліснені чагарники, заліснені ділянки біля відкритих водойм, заліснені болота та закинуті фруктові сади.

77,7 % культивованих земель залишилися без змін, при цьому найбільша частка угідь 17,8% та 3,3% трансформувалася в трав'янистий покрив та затоплену рослинність, інші 1,2% у голу землю, забудовані території та чагарники. Такі тенденції з трансформуванням культивованих земель в траву свідчить про присутність трави в сівозмінах сільськогосподарських товаровиробників. Також трансформація в затоплену рослинність є результатом відвоювання природних агроценозів сільськогосподарській експансії, так частина осушених природних боліт сільськогосподарськими підприємствами з часом стають непридатними для подальшого сільськогосподарського використання.

57% трав'янистого покриву 2016 року залишилися без змін, тобто 83 тис. га Житомирської області можна віднести до природних трав'янистих біоценозів (лука, природні сіножаті). В свою чергу інші 43% були трансформовані в орні землі (16,2%), чагарники (10%), дерева (15,7%), причому два останні свідчать про дерев свідчить про присутність системи відтворення лісових ресурсів.

#### **Висновки**

У цій статті було проведено аналіз земного покриву та його зміни на основі ГІС у Житомирській області протягом 2016-2022 рр. Для

досягнення цієї мети було використано набори даних згенеровані на платформі GEE за допомогою продукту GOOGLE/DYNAMICWORLD/V1 і експортовані для подальшої обробки в середовище ArcGIS PRO та мову програмування R за період з 2016 по 2022 роки. В результаті проведеного аналізу було отримано наступні висновки:

1. У 2022 році 51,2% площі Житомирської області знаходились під лісовкритими територіями. З цих територій 34% припадали на міські територіальні громади, 36% на селищні і 30% на сільські. Заліснені території складаються з лісів та інших лісовкритих територій таких як (сади, посадки, заліснені ділянки землі, болота, закинуті землі тощо). Саме друга категорія піддається вирубуванням у зв'язку із російською агресією проти України, яка негативно вплинула на ціну та стабільність поставок основних енергетичних ресурсів для опалення житла (дрова, газ, електроенергія). Враховуючи що дрова є найбільш доступними із цих трьох ресурсів для опалення житла, тому населення почало здійснювати заготівлю деревини у формі вирубування та зачищення старих садків, заліснених чагарників та річок (іригаційних каналів), лісосмуг.

2. Сільське господарство Житомирської області розвивається за рахунок екстенсифікації. Відповідно даних Google Dynamic World у 2022 році 34,2% території Житомирської області систематично використовуються для вирощування сільськогосподарських культур. З цих територій 23% припадали на міські територіальні громади, 43% на селищні і 33% на сільські. За останні сім років відбулось суттєве зростання площ культивованих угідь на 30%. Зростання площ культивованих угідь впливає на збільшення рівня розораності, який в Житомирській області становить 37% всієї території і 74% сільськогосподарських угідь. Експансія людини в природне

середовище у вигляді розорювання природних біоценозів більше присутня на міських територіях, за рахунок розвитку логістичної інфраструктури (дороги, залізниця, залізничні станції) як фактор інвестиційної привабливості.

3. В структурі земного покриву Житомирської області трав'янистий покрив займає 4,9%, але поступово зменшується. По всіх типах територіальних громад спостерігалось зменшення до 2021 року (в середньому щорічно на 10%), тоді як у 2022 році падіння суттєво сповільнилося в сільських та селищних територіальних громадах, тоді як у міських - зупинилося. Така динаміка пов'язана із двома факторами: 1) частина городів сільських домогосподарств засіяли травою у зв'язку з тим, що чоловіки були мобілізовані до ЗСУ в результаті російської агресії, а вирощування трави вимагає найменше людських затрат; 2) російська агресія спричинила нестачу певних продуктів харчування та їх значне удорожчання, при цьому утримання великої рогатої худоби забезпечує харчами сільське домогосподарство, тому у 2022 році більшість приплоду від ВРХ було не реалізовано і залишено для подальшого утримання, в свою чергу збільшення ВРХ вимагає більше кормів, важливим компонентом яких є трава.

4. Забудовані землі виступають одним із індикаторів розвитку промисловості на міських територіях та галузі тваринництва на сільських територіях. Забудовані землі

Житомирської області становлять 3,7% у 2022 році, при цьому спостерігається суттєве зменшення на 9,7% по зрівнянню з 2021 роком. Таке суттєве зменшення пояснюється закриттям значної кількості підприємств на міських територіях, території яких починають заростати чагарники та дерева, тоді як на сільських територіях відбувається різке руйнування старих колгоспних будівель, таких як закинуті комплекси для утримання сільськогосподарських тварин, сховища для сільськогосподарської продукції тощо.

5. Кущі та чагарники у 2022 році становили 4,4% всіх територій, при цьому спостерігалось суттєве зменшення за досліджуваний період на 39%, або на 27 тис. га. Таке суттєве зменшення пов'язано в першу чергу з експансією сільського господарства. Сільськогосподарські товаровиробники поступово розчищають та захоплюють попередньо закинуті або заболочені сільськогосподарські ділянки.

Класифікація ґрунтового покриву на основі супутникових зображень є життєво необхідною для прийняття рішень у бізнесі та регіональному та національному управлінні. Підприємства отримують актуальну інформацію про стан природного об'єкта – об'єкта виробництва, а державні та регіональні органи влади можуть використовувати цю інформацію для планування стратегічного розвитку, розробки програм підтримки тощо.

#### Список використаних джерел

Chen J., Liao A., Cao X., Chen L., Chen X., He C., et al. Global Land Cover Mapping at 30 m Resolution: A POK-Based Operational Approach. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens*, 2015. Vol. 103, P. 7–27.

Constitution of Ukraine. (1996, June). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/~93~254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80#n4603/>.

Abdelouhed F., Algouti A., Algouti A. Contribution of GIS and remote sensing in geological mapping, lineament extractions and hydrothermal alteration minerals mapping using aster satellite images: case study of central jebilets-morocco. *Disaster Adv.*, 2021. Vol. 14. P. 15-25.

Buchhorn M., Lesiv M., Tsendbazar N.-E. Copernicus Global Land Cover Layers - Collection 2. *Remote Sens*, 2020. Vol. 12. Article 1044.

- Brown C. F., Brumby S. P., Guzder-Williams B. Dynamic World, Near real-time global 10 m land use land cover mapping. *Scientific Data*. 2022. Vol. 9(1). P. 1-17.
- Economic, Social, and Policy Analyses – Orbital Debris and Space Sustainability (NASA). Federal Grants & Contracts. 2022. Vol. 46, no. 10. P. 6. URL: <https://doi.org/10.1002/fgc.32334> (date of access: 22.12.2022).
- Zanaga D., Van De Kerchove R., De Keersmaecker W. ESA WorldCover 10 m 2020 V100 *OpenAIRE*: веб-сайт. 2021. URL: <https://worldcover2020.esa.int/downloader>.
- da Cunha E. R., Santos C. A. G., da Silva R. M. Future scenarios based on a CA-Markov land use and land cover simulation model for a tropical humid basin in the Cerrado. *Atlantic forest ecotone of Brazil. Land Use Policy*. 2021. Vol. 101. Article 105141.
- Gorelick N., Hancher M., Dixon M. Google Earth Engine: Planetary-Scale Geospatial Analysis for Everyone. *Remote Sens. Environ*. 2017. Vol. 202. P. 18–27.
- Halder A., Ghosh A., Ghosh S. Supervised and unsupervised landuse map generation from remotely sensed images using ant based systems. *Applied Soft Computing*. 2011. Vol. 11(8). P. 5770–5781.
- Hashem N., Balakrishnan P. Change analysis of land use/land cover and modelling urban growth in Greater Doha, Qatar. *Annals of GIS*. 2015. Vol. 21(3). P. 233–247.
- Herasymchuk R., Valerko L., Marteniuk G. Climate change tendencies on the territory of the city of Novohrad-Volynskiy in Zhytomyr region. *Scientific Horizons*. 2018. Vol. 65, № 2. P. 42–50. URL: <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2018-65-2-42-50> (дата звернення: 15.11.2022).
- Sulla-Menashe D., Gray J. M., Abercrombie S. P., Friedl M. A. Hierarchical Mapping of Annual Global Land Cover 2001 to Present: The MODIS Collection 6 Land Cover Product. *Remote Sens. Environ*. 2019. Vol. 222. P. 183–194.
- Javed A., Khan I. Land use/land cover change due to mining activities in Singrauli industrial belt, Madhya Pradesh using remote sensing and GIS. *Journal of Environmental Research And Development*. 2012. Vol. 6(3A).
- Cegielska K., Noszczyk T., Kukulska A. Land use and land cover changes in post-socialist countries: Some observations from Hungary and Poland. *Land use policy*. 2018. Vol. 78. P. 1–18.
- Mark M., Kudakwashe M. Rate of land-use/land-cover changes in Shurugwi district, Zimbabwe: drivers for change. *Journal of Sustainable Development in Africa*. 2010. Vol. 12(3). P. 107-121.
- Mohanta, N. How many satellites are orbiting the Earth in 2021? *Geospatial World*. 2021, no. 05/28.
- Plugar E., Plugar D., Stakhno N. Space technologies in achieving the aims of sustainable development. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 853 (1), 012039.
- Prakasam C. Land use and land cover change detection through remote sensing approach: A case study of Kodaikanal taluk, Tamil nadu. *International journal of Geomatics and Geosciences*. 2010. Vol. 1, № 2. P. 150.
- Praveen B., Gupta D. Multispectral-TIR Data Analysis by Split Window Algorithm for Coal Fire Detection and Monitoring. *International Journal of Humanities and Social Science Invention*. 2019. Vol. 6. P. 33-37.
- Sahani N., Ghosh T. GIS-based spatial prediction of recreational trail susceptibility in protected area of Sikkim Himalaya using logistic regression, decision tree and random forest model. *Ecological Informatics*. 2021. Vol. 64. Article 101352.
- Sala, O.E. Chapin, F.S. Armesto, J.J. Berlow, E. Bloomfield, J. Dirzo, R., ... and Leemans, R. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*. 2000. vol. 287(5459), pp. 1770–1774.
- Schirpke U., Tasser E. Trends in Ecosystem Services across Europe Due to Land-Use/Cover Changes. *Sustainability*. 2021. Vol. 13, Iss. 13. Article 7095.

Phiri D., Simwanda M., Salekin S. Sentinel-2 Data for Land Cover/Use Mapping: A Review. *Remote Sens.* 2020. Vol. 12. Article 2291.

Siebritz L.A., Desai A., Cooper, A.K., Coetzee S. The South African Spatial Data Infrastructure—Where are the Municipalities? *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research.* 2022. Vol. 15. P. 143–170.

Hoque M. Z., Islam I., Ahmed M. Spatio-temporal changes of land use land cover and ecosystem service values in coastal Bangladesh. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science.* 2022. Vol. 25, Iss. 1. P. 173–180.

Talukdar S., Singha P., Mahato S., Praveen B., Rahman A. Dynamics of ecosystem services (ESs) in response to land use land cover (LU/LC) changes in the lower Gangetic plain of India. *Ecological Indicators.* 2020. Vol. 106 – 121.

Schramm M., Pebesma E., Milenković M. The OpenEO API—Harmonising the Use of Earth Observation Cloud Services Using Virtual Data Cube Functionalities. *Remote Sens.* 2021. Vol. 13. Article 1125.

Adulaimi A. A., Pradhan B., Chakraborty S., Alamri A. Traffic Noise Modelling Using Land Use Regression Model Based on Machine Learning, Statistical Regression and GIS. *Energies.* 2021. Vol. 14, Iss. 16. Article 5095.

Trimble S.W., Crosson P. US soil erosion rates--myth and reality. *Science*, 2000. vol. 289(5477), pp. 248–250.

Stehman S. V., Pengra B. W., Horton J. A., Wellington D. F. Validation of the US geological survey's land change monitoring, assessment and projection (LCMAP) collection 1.0 annual land cover products 1985-2017. *Remote Sensing of Environment.* 2021. Vol. 265. Article 112646.

Viana C. M., Girão I., Rocha J. Long-term satellite image time-series for land use/land cover change detection using refined open source data in a rural region. *Remote Sensing.* 2019. Vol. 11, Iss. 9. Article 1104.

Vitousek, P.M. Mooney, H.A. Lubchenco, J. and Melillo, J.M. Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 1997. vol. 277(5325), pp. 494–499.

Горобець О. В., Євпак І. І. Тенденції зміни клімату у Житомирській області. Кліматичні зміни та їх наслідки на території Житомирської області. *Наука. Молодь. Екологія – 2017* : зб. матеріалів XIII Всеукр. наук.-практ. конф. студ., асп. та молодих вчених, 25 трав. 2017 р. Житомир, 2017. С. 153–157.

Екологічний паспорт Житомирської області. Житомир: Житомир. облдержадмін., 2022. 187 с. URL: <https://cutt.ly/RVnNFOV>

Про місцеве самоврядування в Україні: Закон України від 21.05.1997 № 280/97-ВР. *Відомості Верховної Ради України.* 1997. № 24, ст. 170.

Регіони України : стат. збірник за 2020 рік : [у 2-х ч.]. Київ : Держ. служба статистики України, 2020. Ч. 1. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>.

### References (translated & transliterated)

Chen, J., Liao, A., Cao, X., Chen, L., Chen, X., He, C., et al. (2015). Global Land Cover Mapping at 30 m Resolution: A POK-Based Operational Approach. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 103, 7–27. [in English]

Constitution of Ukraine. (1996). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/~93~254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80#n4603/>. [in Ukrainian].

Abdelouhed, F., Algouti, A., Algouti, A. (2021) Contribution of GIS and remote sensing in geological mapping, lineament extractions and hydrothermal alteration minerals mapping using aster satellite images: case study of central jebilets-morocco. *Disaster Adv.* 14. 15-25. [in English]

Buchhorn, M., Lesiv, M., Tsendbazar, N. E. (2020) Copernicus Global Land Cover Layers - Collection 2. *Remote Sens.* 12. 1044. [in English]

Brown, C. F., Brumby, S. P., Guzder-Williams, B. (2022). Dynamic World, Near real-time global 10 m land use land cover mapping. *Scientific Data.* 9(1). 1-17 [in English]

Economic, Social, and Policy Analyses – Orbital Debris and Space Sustainability (NASA). Federal Grants & Contracts. 2022. 46, 10. 6. URL: <https://doi.org/10.1002/fgc.32334> (date of access: 22.12.2022). [in English]

Zanaga, D., Van, De Kerchove, R., De Keersmaecker, W. (2021). ESA WorldCover 10 m 2020 V100 *OpenAIRE*. [Electronic resource] URL: <https://worldcover2020.esa.int/downloader>. [in English]

da Cunha, E. R., Santos, C. A. G., da Silva, R. M. (2021). Future scenarios based on a CA-Markov land use and land cover simulation model for a tropical humid basin in the Cerrado. *Atlantic forest ecotone of Brazil. Land Use Policy*. 101. 105141. [in English].

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M. (2017). Google Earth Engine: Planetary-Scale Geospatial Analysis for Everyone. *Remote Sens. Environ.* 202. 18–27. [in English]

Halder, A., Ghosh, A., Ghosh, S. (2011). Supervised and unsupervised landuse map generation from remotely sensed images using ant based systems. *Applied Soft Computing*. 11(8). 5770–5781. [in English].

Hashem, N., Balakrishnan, P. (2015). Change analysis of land use/land cover and modelling urban growth in Greater Doha, Qatar. *Annals of GIS*. 21(3). 233–247.. [in English]

Herasymchuk, R., Valerko, L., Marteniuk, G. (2018). Climate change tendencies on the territory of the city of Novohrad-Volynskiy in Zhytomyr region. *Scientific Horizons*. 65. 2. 42–50. URL: <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2018-65-2-42-50>. [in English]

Sulla-Menashe, D., Gray, J. M., Abercrombie, S. P., Friedl, M. A. (2019). Hierarchical Mapping of Annual Global Land Cover 2001 to Present: The MODIS Collection 6 Land Cover Product. *Remote Sens. Environ.* 222. 183–194. [in English]

Javed, A., Khan, I. (2012). Land use/land cover change due to mining activities in Singrauli industrial belt, Madhya Pradesh using remote sensing and GIS. *Journal of Environmental Research And Development*. 6 (3A). [in English]

Cegielska, K., Noszczyk, T., Kukulska, A. (2018). Land use and land cover changes in post-socialist countries: Some observations from Hungary and Poland. *Land use policy*. 78. 1–18. [in English]

Mark, M., Kudakwashe, M. (2010). Rate of land-use/land-cover changes in Shurugwi district, Zimbabwe: drivers for change. *Journal of Sustainable Development in Africa*. 12(3). 107-121. [in English]

Mohanta, N. (2021). How many satellites are orbiting the Earth in 2021? *Geospatial World*. 05/28. [in English]

Plugar, E., Plugar, D., Stakhno, N. (2021). Space technologies in achieving the aims of sustainable development. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 853 (1), 012039. [in English]

Prakasam, C. (2010). Land use and land cover change detection through remote sensing approach: A case study of Kodaikanal taluk, Tamil nadu. *International journal of Geomatics and Geosciences*. Vol. 1, № 2. P. 150. [in English]

Praveen, B., Gupta, D. (2019). Multispectral-TIR Data Analysis by Split Window Algorithm for Coal Fire Detection and Monitoring. *International Journal of Humanities and Social Science Invention*. Vol. 6. P. 33-37. [in English]

Sahani, N., Ghosh, T. (2021). GIS-based spatial prediction of recreational trail susceptibility in protected area of Sikkim Himalaya using logistic regression, decision tree and random forest model. *Ecological Informatics*. Vol. 64. Article 101352. [in English]

Sala, O.E. Chapin, F.S. Armesto, J.J. Berlow, E. Bloomfield, J. Dirzo, R., ... and Leemans, R. (2000). Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*. vol. 287(5459), pp. 1770–1774. [in English]

Schirpke, U., Tasser, E. (2021). Trends in Ecosystem Services across Europe Due to Land-Use/Cover Changes. *Sustainability*. Vol. 13, Iss. 13. Article 7095. [in English]

- Phiri, D., Simwanda, M., Salekin, S. (2020). Sentinel-2 Data for Land Cover/Use Mapping: A Review. *Remote Sens.* Vol. 12. Article 2291. [in English]
- Siebritz, L.A., Desai, A., Cooper, A.K., Coetzee, S. (2022). The South African Spatial Data Infrastructure—Where are the Municipalities? *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research.* Vol. 15. P. 143-170. [in English]
- Hoque, M. Z., Islam, I., Ahmed, M. (2022). Spatio-temporal changes of land use land cover and ecosystem service values in coastal Bangladesh. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science.* Vol. 25, Iss. 1. P. 173–180. [in English]
- Talukdar, S., Singha, P., Mahato, S., Praveen, B., Rahman, A. (2020). Dynamics of ecosystem services (ESs) in response to land use land cover (LU/LC) changes in the lower Gangetic plain of India. *Ecological Indicators.* Vol. 106 – 121. [in English]
- Schramm, M., Pebesma, E., Milenković, M. (2021). The OpenEO API—Harmonising the Use of Earth Observation Cloud Services Using Virtual Data Cube Functionalities. *Remote Sens.* Vol. 13. Article 1125. [in English]
- Adulaimi, A. A., Pradhan, B., Chakraborty, S., Alamri, A. (2021). Traffic Noise Modelling Using Land Use Regression Model Based on Machine Learning, Statistical Regression and GIS. *Energies.* Vol. 14, Iss. 16. Article 5095. [in English]
- Trimble, S.W., Crosson, P. (2000). US soil erosion rates--myth and reality. *Science*, vol. 289(5477), pp. 248–250. [in English]
- Stehman, S. V., Pengra, B. W., Horton, J. A., Wellington, D. F. (2021). Validation of the US geological survey's land change monitoring, assessment and projection (LCMAP) collection 1.0 annual land cover products 1985-2017. *Remote Sensing of Environment.* Vol. 265. Article 112646. [in English]
- Viana, C. M., Girão, I., Rocha, J. (2019). Long-term satellite image time-series for land use/land cover change detection using refined open source data in a rural region. *Remote Sensing.* Vol. 11, Iss. 9. Article 1104.
- Vitousek, P.M. Mooney, H.A. Lubchenco, J. and Melillo, J.M. (1997). Human domination of Earth's ecosystems. *Science.* vol. 277(5325), pp. 494–499. [in English]
- Horobets, O. V., Yevpak, I. I. (2017). Tendenciji zminy klimatu u Zhytomyrs'kij oblasti. Klimatychni zminy ta jikh naslidky na terytoriji Zhytomyrs'kohoji oblasti. Nauka. [Climate change trends in Zhytomyr region. Climatic changes and their consequences on the territory of Zhytomyr region. Science.] Young. Ecology: coll. materials of the 13th All-Ukrainian science and practice conf. students, graduate students and young scientists. May 25, 2017. P. 153–157. (Zhytomyr, 2017) [in Ukrainian].
- Ekologichnyj pasport Zhytomyrs'kohoji oblasti. (2022). [Environmental passport of the Zhytomyr region]. 187 p. (Zhytomyr. Regional State Administration, Zhytomyr, 2022). Retrieved from <https://cutt.ly/RVnNFOV> [in Ukrainian].
- Pro misceve samovrjaduvannja v Ukrajinі: Zakon Ukrajinы vid 21.05.1997 № 280/97-VR. [About local self-government in Ukraine : Law of Ukraine dated May 21, 1997 No. 280/97-VR]. Information of the Verkhovna Rada of Ukraine. Vol. 24 (170) (1997). [in Ukrainian].
- Reghiony Ukrajinы. (2020). [Regions of Ukraine]: Art. collection for 2020 : [in 2 parts]. (State. Statistics Service of Ukraine, Kyiv, 2020). Retrieved from <http://www.ukrstat.gov.ua/> [in Ukrainian].

Отримано: 15 жовтня 2022  
Прийнято: 17 листопада 2022



УДК 388.48 (1-751.2) (477.41/42)  
DOI 10.35433/naturaljournal.2.2023.118-125

## СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТУРИЗМУ В НАЦІОНАЛЬНИХ ПРИРОДНИХ ПАРКАХ СХІДНОГО ПОЛІССЯ

Т. М. Шовкун<sup>1</sup>, В. М. Зінченко<sup>2</sup>, І. В. Мирон<sup>3</sup>

*У статті проаналізовано основні рекреаційні ресурси (об'єкти природного та історико-культурного середовища) національних природних парків Східного Полісся: Деснянсько-Старогутського, Мезинського, Дніпровсько-Деснянського та Залісся. У межах парків поширені типові та унікальні ландшафти Чернігівського Полісся та Новгород-Сіверського Полісся. Серед історико-культурних рекреаційних ресурсів на увагу заслуговують такі визначні археологічні об'єкти: палеолітична стоянка первісних людей (Мезинський НПП), залишки поселення Милоградівської культури, датовані VII-I ст. до н.е. (НПП «Залісся»), та архітектурні об'єкти – церкви XVIII-XIX ст. та інші.*

*На територіях НПП зазначені екологічні стежки, маршрути (автомобільні, велосипедні, пішохідні), які дають можливість ознайомитися з природою Полісся, та заклади розміщення. Встановлено, що переважаючими видами туризму в НПП Східного Полісся є рекреаційно-пізнавальний (за метою), велосипедний, автомобільний, пішохідний, водний (за способом пересування). Для з'ясування можливостей організації відпочинку вихідного дня була здійснена оцінка 100-кілометрової доступності за основними автошляхами до території НПП Східного Полісся за допомогою веб-ресурсу Google Earth Pro. Встановлено, що у 100-кілометрову зону доступності НПП «Залісся» та РЛП «Міжріччинський» (проектований НПП «Дніпровсько-Деснянське міжріччя») потрапляє мільйонне місто – столиця України – Київ. Це підвищує рекреаційну привабливість даних НПП. Подальшими напрямками може бути розвиток лікувально-оздоровчого туризму, турів вихідного дня, розширення переліку послуг, які можуть надаватися національними природними парками.*

**Ключові слова:** національний природний парк, Східне Полісся, туризм, рекреаційні ресурси

<sup>1</sup> кандидат географічних наук,  
доцент кафедри географії, туризму та спорту  
Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя  
E-mail: tmshov@ukr.net  
<http://orcid.org/0000-0001-9235-062X>

<sup>2</sup> старший викладач кафедри індустрії гостинності та сталого розвитку  
Таврійський національний університет імені В. І. Вернадського  
м. Київ  
e-mail: zvn196@ukr.net  
<http://orcid.org/0000-0003-1802-1697>

<sup>3</sup> старший викладач кафедри географії, туризму та спорту  
Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя  
E-mail: miron1@ukr.net  
<http://orcid.org/0000-0003-3633-9703>

## THE CURRENT STATE AND PROSPECTS OF TOURISM DEVELOPMENT IN THE NATIONAL NATURAL PARKS OF EASTERN POLISSYA

T. M. Shovkun, V. M. Zinchenko, I. V. Myron

*The article analyzes the main recreational resources (objects of the natural and historical and cultural environment) of the national natural parks in Eastern Poliss: Desnyansko-Starogutsky, Mezinsky, Dniprovsky-Desnyansky and Zaliss. Near the boundaries of the parks there are wide typical and unique landscapes of the Chernigiv Polis and Novgorod-Siverskiy Polis. Among the historical and cultural recreational resources, important architectural objects deserve respect: the Paleolithic site of the first people (Mezinsky NPP), the remnants of the settlement of Milogradivska culture dated VII-I Art. BC (NPP "Zalissy"); architectural objects: churches of the XIII- XIX centuries and others.*

*On the territory of the National Park, ecological paths, routes (automobile, bicycle, hiking) are designated, which give the opportunity to get to know the nature. It has been established that the most important types of tourism in NNP Eastern Polissya are recreational and educational (for the method), cycling, automobile, pedestrian, water (for the transfer method). To assess the possibilities of organizing a weekend day, an assessment of 100-kilometer accessibility behind the main highways to the territory of NPP Eastern Polissya for the additional Google Earth Pro service was made. It has been established that the 100-kilometer accessibility zone of NPP "Zalissy" and RLP "Mizhrichinsky" (designed by NPP "Dniprovsko-Desnyansk Mizhrichchya") consume millions of places - the capital of Ukraine - Kiev. This promotes the recreational privacy of these NPPs. Further direct can be the development of recreational and health tourism, weekend tours, expansion of the transfer of services, which can be applied by national natural parks.*

**Keywords:** national natural park, Eastern Polissia, tourism, recreational resources.

### Вступ

Сьогодні у світі туристична діяльність є однією із найприбутковіших і водночас найекологічніших галузей господарства. Дослідження рекреаційно-туристичного потенціалу регіонів (територій) привертають увагу науковців. Території та об'єкти природно-заповідного фонду України окрім виконання своїх природоохоронних функцій, повинні сприяти сталому соціально-економічному розвитку регіонів, зокрема створюючи сприятливі умови для рекреаційно-туристичної діяльності. Серед установ природно-заповідного фонду України найбільш соціально корисною й економічно вигідною для організації та здійснення рекреаційно-туристичної діяльності є категорія «національний природний парк». Тому аналіз розвитку туризму на територіях національних природних парків (НПП) Східного Полісся є актуальним питанням сьогодення.

Вивчення туризму у національних природних парках України спрямовано, у більшості випадків, на дослідження природних та культурно-історичних рекреаційних ресурсів

власне парків або визначення їх ролі та значення у конкретних туристичних регіонах. Проблеми туристичної діяльності на територіях та об'єктах природно-заповідного фонду розглянуті у роботі Н. Коніщева, С. Ткачова (Коніщева, 2020). Порівняльний аналіз спільних та відмінних рис проведення туристичної діяльності на територіях та об'єктах природно-заповідного фонду України та Республіки Польща здійснили С. Коротун та М. Яковишина. Основний акцент у своєму дослідженні вони роблять на розвиток міжнародного екотуризму (Коротун, 2016). Оцінка закордонного досвіду рекреаційного використання природоохоронних територій проведена у роботі Т. Безсмертнюк, М. Мельнічук (Безсмертнюк, 2020). Роль природоохоронних територій для туристично-рекреаційної діяльності на прикладі Карпатського регіону розкрито у дослідженні Г. Машіки, В. Лендел (Машіка, 2016). Водночас особливості розвитку туризму в НПП Східного Полісся висвітлені недостатньо.

Метою дослідження є визначити фізико-географічні передумови



рекреаційного використання НПП Східного Полісся; проаналізувати сучасний стан їхнього рекреаційного використання та запропонувати нові напрямки.

### **Матеріал і методи**

Для реалізації мети дослідження використовувалися як загальнонаукові, так і спеціальні методи: системно-структурний, картографічний, узагальнення та систематизації.

Для аналізу основних рекреаційних ресурсів та переважаючих форм туризму використано матеріали з офіційних сайтів НПП, що досліджувалися, та офіційної веб-сторінки готелю Dereville.

Національні природні парки (НПП) є «природоохоронними, рекреаційними, культурно-освітніми, науково-дослідними установами загальнодержавного значення, що створюються з метою збереження, відтворення і ефективного використання природних комплексів та об'єктів, які мають особливу природоохоронну, оздоровчу, історико-культурну, наукову, освітню та естетичну цінність» (Закон України «Про природно-заповідний фонд», 1992). Отже, однією із основних функцій НПП є організація умов для здійснення рекреації. Основним типом рекреаційного природокористування в межах НПП є туризм. Це «тимчасовий виїзд особи з місця постійного проживання в оздоровчих, пізнавальних, професійно-ділових чи інших цілях без здійснення оплачуваної діяльності в місці перебування» (Про туризм. Закон України, 1995).

Рекреаційно-туристична діяльність організовується відповідно до чинного законодавства у межах двох функціональних зон НПП: регульованої та стаціонарної рекреації. У межах зони регульованої рекреації організовується короткостроковий відпочинок та оздоровлення населення, огляд особливо мальовничих і пам'ятних місць; облаштування туристських маршрутів і екологічних

стежок. Зона стаціонарної рекреації призначена для розміщення готелів, мотелів, кемпінгів тощо (Закон України «Про природно-заповідний фонд», 1992).

На території Східного Полісся є чотири НПП – Деснянсько-Старогутський, Мезинський, Дніпровсько-Деснянський та Залісся.

### **Результати та обговорення**

Національний природний парк «Деснянсько-Старогутський» створений у 1999 році, розташований в Чернігівській області в екологічно-чистому регіоні, віддаленому від великих промислових міст. За особливостями ландшафтної структури на його території виділяються дві частини: Старогутську (цілісний масив хвойних та мішаних (Брянські ліси), яка репрезентує східну частину Українського Полісся) та Придеснянську (ландшафти долини Десни). З природою парку можна ознайомитися здійснивши екскурсії по маркованих екологічних стежках «Візитівка Десни» та «Стежками Старогутського лісу», протяжність яких становить по 3,5 км. На території НПП знаходиться 2 бази відпочинку: «Деснянка» та «Боровичанка», які функціонують цілорічно, і дитячий екологічний табір «Деснянські зорі».

Для з'ясування можливостей організації відпочинку вихідного дня була здійснена оцінка 100-кілометрової доступності за основними автошляхами до територій НПП Східного Полісся за допомогою веб-ресурсу Google Earth Pro. У зону доступності НПП «Деснянсько-Старогутський» потрапляють такі досить великі населені пункти Сумської області: міста Шостка (73 тис. мешканців) та Глухів (35 тис. мешканців), смт. Вороніж з кількістю мешканців майже 7 тис., а також населенні пункти Чернігівської області – міста Новгород-Сіверський та Семенівка, кількість мешканців у яких сягає до 14 тис. та 8 тис. відповідно (рис.1).

Мезенський НПП було створено в Чернігівській області у 2006 році з метою збереження, відтворення і раціонального використання типових та унікальних природних комплексів Новгород-Сіверського Полісся. Його територія відзначається високим ландшафтним різноманіттям. Також на території НПП є багато цікавих історичних та археологічних об'єктів і

знахідок. Можливість детально ознайомитися з природою парку дає автомобільний туристичний маршрут «Від історії до сьогодення», протяжність якого 50 км. Також функціонує екологічна стежка «Рихлівська дача». Туристи можуть зупинитися в таких закладах розміщення: будиночках мандрівника «Затишок», «Хотинський».

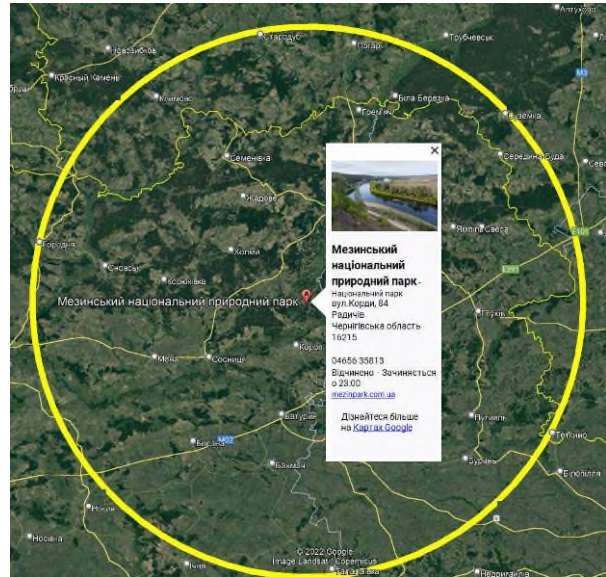
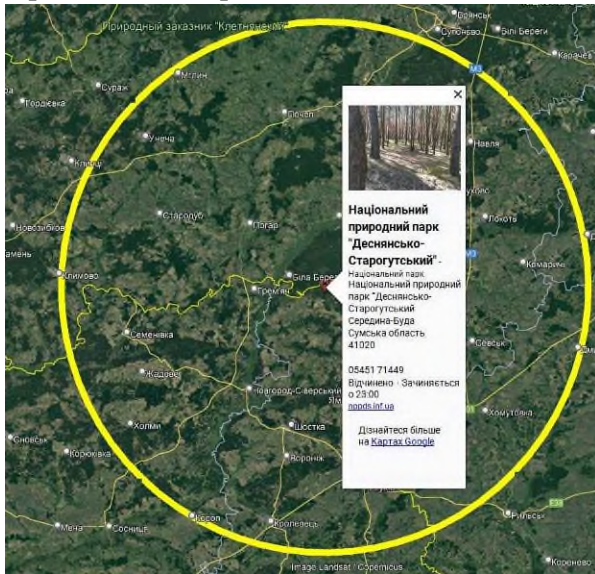


Рис. 1. Зона 100-кілометрової доступності до центрів НПП «Деснянсько-Старогутський» та «Мезенський»

У зону 100-кілометрової доступності НПП «Мезинський» потрапляють такі великі міста Сумської області, як Конотоп і Шостка, де кількість населення перевищує 70 тис. осіб, а також міста Глухів, Кролевець, Путивль, Буринь, де населення становить понад 30 тис., 20 тис., 15 тис. та 8 тис. відповідно. У межах цієї зони розташовані такі міста Чернігівської області: Бахмач (майже 17 тис. мешканців), Новгород-Сіверський, Мена, Городня, Корюковка, Сновськ, Борзна, кількість мешканців у яких становить від 13 до 10 тис. осіб (див. рис. 1).

У 2008 році згідно з Указом Президента України на території Чернігівської області було створено НПП «Дніпровсько-Деснянське міжріччя». Ядром майбутнього НПП став існуючий з 2002 року регіональний ландшафтний парк (РЛП)

«Міжріччинський». Це найбільший в Україні РЛП з площею майже 79 тис. га. Він створений з метою охорони алювіально-зандрових ландшафтів межиріччя Дніпра та Десни. РЛП – це територія рекреаційного призначення. Але ця категорія природно-заповідного фонду не має фінансування і зміна його статусу на НПП надає більших можливостей для розвитку. Процес зміни статусу сьогодні призупинено із-за супротиву працівників лісгоспів, користувачів мисливських угідь та місцевого населення, оскільки планувалося значне розширення меж РЛП «Міжріччинський» і встановлення певних обмежень щодо користування природними ресурсами.

Територією РЛП пролягають 4 екологічні стежки: «Журавлина», «Поліська», «Бондарівське Болото», «Соколиний Луг», протяжність кожної до 2 км. На території парку



відбуваються різноманітні заходи: майстер-класи з виживання в диких умовах, річкові сплави, орнітологічні спостереження тощо. У межах парку в минулому розташовувалися 2 танкових полігони, на місці яких утворилися «пустельні» ландшафти. Вони наочно ілюструють негативний вплив людської діяльності на природу.

У межах Міжрічинського регіонального ландшафтного парку створено Екопарк Dereville, який займає площу 240 га і є домівкою для 42 видів диких тварин. Поруч із екопарком розташовано готель «Dereville» (комплекс будинків, виконаних в концепції «еко»). На території екопарку Dereville облаштовано комфортний пляж, пропонуються риболовля, пішохідні й

автомобільні прогулянки екостежками у супроводі працівників парку.

У зону 100-кілометрової доступності РЛП «Міжрічинський» потрапляють столиця України, одне з найбільших міст Європи – м. Київ з населенням майже 3 млн. осіб, а також такі великі міста Київської області, як Бровари (109 тис. мешканців), Бориспіль (понад 63 тис. мешканців), Ірпінь (понад 62 тис. мешканців). Серед великих населених пунктів Чернігівської області у межах даної зони розміщені обласний центр м. Чернігів з населенням майже 290 тис. осіб, м. Ніжин з населенням майже 70 тис. осіб, а також Городня, Бобровиця, Козелець, Ріпки, кількість мешканців у яких становить від 12 до 7 тис. осіб (рис. 2).

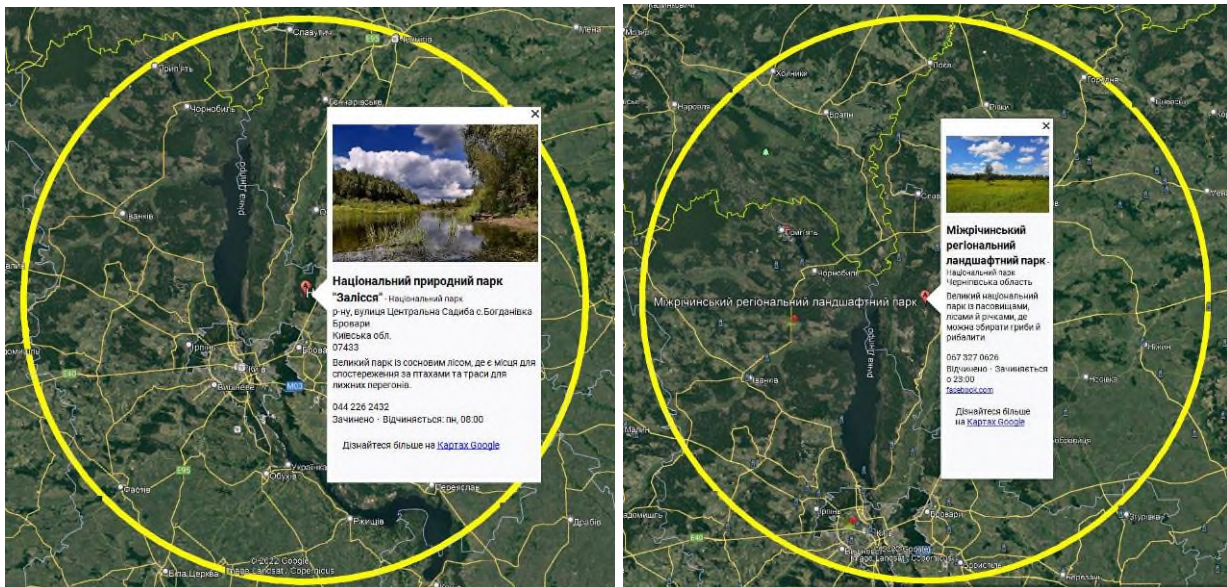


Рис. 2. Зона 100-кілометрової доступності до центрів НПП «Залісся» та РЛП «Міжрічинський» (проектований НПП «Дніпровсько-Деснянське міжріччя»)

Національний природний парк «Залісся» був створений у 2009 році бази Державної організації «Резиденція «Залісся», яка функціонує з 1957 року. Але остаточне оформлення юридичного статусу НПП «Залісся» відбулося лише у 2021 р. Територіально НПП розміщений у межах двох адміністративних областей – Київської та Чернігівської – і займає площу 14836 га. НПП розташований на першій і другій лівобережних терасах

річки Десни в межах Чернігівського Полісся. На території НПП «Залісся» мешкає багато мисливських тварин – олень благородний, олень плямистий, косуля, лань, кабан дикий, зубр та інші. Щільність копитних тварин становить 122 голів на 1 тис. га, що збільшує ймовірність їх споглядання. У НПП розроблені екологічна стежка «Лісова казка» завдовжки 5,3 км, туристичний автомобільний маршрут «Перлина Полісся» протяжністю 37 км,

автомобільний маршрут «Мандруємо Поліссям» протяжністю 28 км, велосипедний туристичний маршрут «Дорогами Залісся» протяжністю 28 км. Також відвідувачі мають можливість зайнятися любительським і спортивним рибальством (у межах затверджених лімітів).

У зону 100-кілометрової доступності НПП «Залісся»

потрапляють місто-мільйонник, столиця України м. Київ, обласний центр м. Чернігів, такі міста Київської області: Бровари, Ірпінь, Обухів, Переяслав, Яготин; Чернігівської області: Ніжин, Козелець (див. рис. 2).

Основні рекреаційні ресурси та переважаючі форми туризму НПП Східного Полісся відображені у таблиці 1.

Таблиця 1.

Основні рекреаційні ресурси та переважаючі форми туризму НПП Східного Полісся

Назва НПП	Рекреаційні ресурси		Переважаючі види туризму	
	Об'єкти природного середовища	Об'єкти історико-культурного середовища	За метою	За способом пересування
Деснянсько-Старогутський	природні комплекси (ПК) заплави р. Десна, масив Старогутських лісів з різноманітням водної та лісової фауни	землянка С. А. Ковпака	рекреаційно-пізнавальний, спортивний	велосипедний, кінний, водний, пішохідний
Мезинський	ПК заплави р. Десни, ПК першої та другої терас із борами і суборами, а також із нетиповими для Полісся дубовими, липово-дубовими, грабово-дубовими лісами з деревами віком 200-300 років, ПК евтрофних боліт, відслонення крейдових порід	палеолітична стоянка первісних людей, 13 городищ часів Київської Русі, археологічний науково-дослідний музей з філіалом, кімната етнографії та історії краю, Свято-Миколаївський монастир, церква Успіння Пресвятої Богородиці, палац графа Рум'янцева-Задунайського (XVIII ст.)	рекреаційно-пізнавальний	автомобільний, пішохідний, водний
РАП «Міжріччинський» (проектований НПП «Дніпровсько-Деснянське міжріччя»)	ПК піщаної борової тераси із борами зеленомоховими та лишайниковими, суборами із віковими дубами, ПК евтрофних чагарникових та осокових боліт і справжніх луків	церкви XIX ст., язичницьке капище (реконструкція), музей лісових промислів Полісся, Миколаївська дерев'яна церква XIX ст., Михайлівська дерев'яна церква XVIII ст.	рекреаційно-пізнавальний	велосипедний, автомобільний, пішохідний
Залісся	ПК першої та другої лівобережних терас р. Десна із суборами, ПК водно-болотних угідь та озер Верхнє Велике, Нижнє Велике	залишки поселення Милоградівської культури (VII-I ст. до н.е.), стайня для чистопородних коней різних порід, дерев'яний зруб-палац (друга половина XX ст.), музей природи, медоварня «Медовий Спас»	рекреаційно-пізнавальний, спортивний	велосипедний, автомобільний, пішохідний

### Висновки

1. НПП Східного Полісся мають значні рекреаційні ресурси – об'єкти як природного, так й історико-культурного середовища, і можуть задовольняти рекреаційні потреби як

на місцевому, так і на загальнодержавному рівнях.

2. Переважаючими видами туризму на територіях НПП Східного Полісся є культурно-пізнавальний, спортивний (за метою), пішохідний,

велосипедний, водний (за способом пересування).

3. Туристична діяльність на територіях НПП Східного Полісся має переважно сезонний характер. Лікувально-оздоровчий туризм, який може функціонувати цілорічно, практично не розвинутий.

4. Розвиток туризму гальмується із-за недостатнього розвитку туристичної інфраструктури, яка потребує значних капіталовкладень із залученням інвестицій.

5. Подальшими напрямками може бути розвиток нових видів туризму, зокрема лікувально-оздоровчого, а також розширення переліку послуг, які можуть надаватися НПП.

6. У сучасних українських реаліях перспективним форматом може стати тур вихідного дня. Особливо актуальним це є для НПП «Залісся» та РЛП «Міжріччинський» (проектований НПП «Дніпровсько-Деснянське міжріччя»), у 100-кілометрову зону доступності яких потрапляє мільйонне місто – столиця України – Київ.

### Список використаних джерел

Безсмертнюк Т. П., Мельничук М. М. Упровадження закордонного досвіду рекреаційного використання природоохоронних територій в Україні. *Науковий вісник Херсонського державного університету*. 2020. Випуск 13. С. 84-91.

Про природно-заповідний фонд: Закон України від 16 червня 1992 року № 2457-XII. Верховної ради України 1992 [Electronic resource] 54kyURL: <http://zakon3.rada.gov.ua> (дата звернення 10.08.2022).

Офіційна сторінка готелю Dereville. [Електронний ресурс]. URL: <https://dereville.com> (дата звернення 15.09.2022).

Гетьман В. І., Мовчан М. М. Функціональне зонування територій національних природних парків світу та України. *Науково-практичний журнал*. Екологічні науки. 2020. Випуск 6 (33) С. 153-159.

Коніщева Н. Й., Ткачова С. С. Шляхи сталого розвитку туризму на територіях національних природних парків. *Інновації та технології у сфері послуг*. 2020. № 1-2 (3-4) С.23-33. [Електронний ресурс]. URL: <file:///C:/Users/User/Downloads/213035-%D0%A2%D0%B5%D0%BA%D1%81%D1%82%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%82%D1%96-484746-1-10-20201022.pdf> (дата звернення: 20.03.2022).

Коротун С., Яковичина М. Особливості використання природоохоронних територій у туристичній діяльності України і Республіки Польща. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. Серія: Сільськогосподарські науки, 2016. Випуск 2 (74), 163-170.

Машіка Г. В., Лендел В. В. Природоохоронні території як головний елемент розвитку туристсько-рекреаційного використання. [Електронний ресурс]. URL: [https://economyandsociety.in.ua/journals/2\\_ukr/81.p](https://economyandsociety.in.ua/journals/2_ukr/81.p) (дата звернення 15.10.2022).

Про туризм. Закон України від 15.09.1995 № 324/95-ВР. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/324/95-%D0%B2%D1%80#Text> (дата звернення 10.01.2022).

### References (translated & transliterated)

Bezsmertnyuk, T. P., Melnychuk, M. M. (2020) Uprovadzhennia zakordonnoho dosvidu rekreatsiinoho vykorystannia pryrodookhoronnykh terytorii v Ukraini. [Implementation of foreign experience of recreational use of nature conservation areas in Ukraine]. *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnoho universytetu*. [Scientific Bulletin of Kherson State University]. Issue 13. S. 84-91. [In Ukrainian].

Hetman, V. I., Movchan, M. M. (2020) Funktsionalne zonuvannia terytorii natsionalnykh pryrodnykh parkiv svitu ta Ukrainy. [Functional zoning of territories of national nature parks of the world and Ukraine]. *Naukovo-praktychnyi zhurnal*.

*Ekolohichni nauky* [Scientific and practical journal. Environmental sciences]. Issue 6 (33) P. 153-159. [In Ukrainian].

Konishcheva, N. Y., Tkachova, S. S. (2020) Shliakhy staloho rozvytku turyzmu na terytoriakh natsionalnykh pryrodnykh parkiv [Ways of sustainable development of tourism in the territories of national natural parks]. *Innovatsii ta tekhnolohii u sferi posluh*. [Innovations and technologies in the field of services]. No. 1-2 (3-4) P. 23-33. [Electronic resource] URL: <file:///C:/Users/User/Downloads/213035%D0%A2%D0%B5%D0%BA%D1%81%D1%82%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%82%D1%96-484746-1-10-20201022.pdf> (application date 20.03.2022) [In Ukrainian].

Korotun, S., Yakovyshyn, M. (2016) Osoblyvosti vykorystannia pryrodookhoronnykh terytorii u turystychnii diialnosti Ukrainy i Respubliky Polshcha. [Peculiarities of the use of nature conservation areas in tourism activities of Ukraine and the Republic of Poland]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Serii: Silskohospodarski nauky*. [Bulletin of the National University of Water Management and Nature Management]. Series: Agricultural Sciences, Issue 2 (74), 163-170. [In Ukrainian].

Mashika, G. V., Lendel, V. V. Pryrodookhoronni terytorii yak holovnyi element rozvytku turystscko-rekreatsiinoho vykorystannia. [Nature protection areas as the main element of the development of tourist and recreational use]. [Electronic resource] URL: [https://economyandsociety.in.ua/journals/2\\_ukr/81.p](https://economyandsociety.in.ua/journals/2_ukr/81.p) (application date 15.10.2022) [In Ukrainian].

Ofitsiina storinka hoteliu Dereville. [The official side of the dereville hotel]. [Electronic resource]. URL: <https://dereville.com> (application date 15.09.2022) [In Ukrainian].

Pro turyzm. Zakon Ukrainy vid 15.09.1995 № 324/95-VR. [About tourism. Law of Ukraine dated September 15, 1995 No. 324/95-VR]. [Electronic resource] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/324/95-%D0%B2%D1%80#Text> (application date 10.01.2022) [In Ukrainian].

Zakon Ukrainy «Pro pryrodno-zapovidnyi fond [Law of Ukraine «On the Natural Reserve Fund»], 1992. [Electronic resource] URL: <http://zakon3.rada.gov.ua> (application date 08.10.2022). [In Ukrainian].

Отримано: 11 вересня 2022  
Прийнято: 2 листопада 2022



Ukrainian Journal of Natural Sciences  
Issue 2  
Український журнал природничих наук  
Випуск 2

ISSN: 2786-6335 print  
ISSN: 2786-6343 online

УДК 91(477)(091):001

DOI 10.35433/naturaljournal.2.2023.126-142

**КАФЕДРА ГЕОДЕЗІЇ ТА КАРТОГРАФІЇ ГЕОГРАФІЧНОГО ФАКУЛЬТЕТУ  
КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА  
ШЕВЧЕНКА: ІСТОРІЯ, СУЧАСНІСТЬ, ПЕРСПЕКТИВИ**

**А. В. Орещенко<sup>1</sup>**

*В статті розглядається робота кафедри геодезії та картографії географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка з часу її заснування по сьогодні. У хронологічній послідовності розкривається 3 головних теми: наукова та освітня діяльність, структурно-організаційні моменти і кадрова політика кафедри.*

*Основою для виділення періодів у розвитку підрозділу взято структуру компетенцій, які мали бути сформовані у студентів впродовж навчання. Тут же розглянуто рівень відповідності освітніх програм виробничим потребам. Запропоновано перспективну структуру освітньої програми, орієнтовану на випускників 2020-2030 рр., формулювання якої є результатом окремого, ще не закінченого дослідження.*

*Крім ролі підрозділів у науково-освітній діяльності, розглянуто кадрову політику і роботу завідувачів кафедри. Окремо подано історію науково-дослідної лабораторії, вказано причини її реорганізації.*

*З іншої сторони, викладено вплив зовнішніх факторів на навчальний процес, зокрема появу електронної обчислювальної техніки, здобуття Україною незалежності і зміну економічної моделі країни, перехід картографічного виробництва на цифрові технології, інформатизацію, впровадження Болонської системи освіти. Викладено вимоги до роботи кафедри у сучасних умовах високої вартості навчання, закриття профільних спеціальностей, конкуренції за студентів, зокрема з іншими науковими закладами, які мають підрозділи подібної спеціалізації.*

**Ключові слова:** кафедра, розвиток, історія, організація, картографія, освіта, Київський національний університет імені Тараса Шевченка

**THE DEPARTMENT OF GEODESY AND CARTOGRAPHY, FACULTY OF  
GEOGRAPHY, TARAS SHEVCHENKO NATIONAL UNIVERSITY OF KYIV:  
HISTORY, MODERNITY, PROSPECTS**

**A. V. Oreshchenko**

*There is considered the activity of geodesy and cartography department of geographical faculty of Taras Shevchenko National University of Kyiv from time of its institution to present time.*

<sup>1</sup> к. геогр. н., старший науковий співробітник лабораторії дослідження впливу кліматичних змін на водні ресурси, (Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України, м. Київ), e-mail: andrey\_o@uhmi.org.ua  
ORCID: 0000-0002-8363-688



*Chronologically 3 main topics exposed: educational and scientific functioning, structural and organization instants and personnel policy of department.*

*To mark the periods in development of the department we took the structure of competences which were to have formed in students during their training. There we considered the correspondence level of educational programs to business demands too. It was proposed the structure of the educational program which is focused on perspective economy inquiries (2020-2030's) and the wording of which is the result of a separate unfinished research.*

*Besides the subdivisions role in educational and scientific achievements we also disclosed the personnel policy and organizational work of the heads of the department. There are separately stated the history of scientific subdivision and pointed out on the causes of its reorganization.*

*In the other hand we discussed the influence of external factors onto educational process, in particular computing machinery appearance, gaining of national independence and change of state economy model, conversion of cartographic production to digital technology, implementation of the Bologna education system.*

*In the final part of the article we recounted the demands for education department functioning in actual conditions of high cost of study, changing of profile specialties and academic competition for the best students with other universities which have the departments with similar specialization.*

**Keywords:** department, development, history, cartography, education, Taras Shevchenko National University of Kyiv.

## Вступ

Співробітники кафедри навчального закладу визначають не тільки її розвиток і функціонування, але й до певної міри відповідають за долі студентів, які вибрали це місце навчання з-поміж сотень подібних. Чи виправдаються їх сподівання? Наскільки вони стануть успішними? Що очікує професію, якій навчають співробітники кафедри? Відповіді на всі ці питання викладені в цьому дослідженні.

Постановка проблеми і огляд літератури. Ще у 2012 році було вирішено скласти огляд результатів діяльності кафедри геодезії та картографії географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка (КНУ) з часу її заснування. Тривалий час структуру такого складного питання не вдавалось сформулювати. Роботу було розпочато із аналізу досліджень на цю тему. Як правило, ці праці висвітлюють внесок науковців і викладачів у розвиток очолюваних ними підрозділів (Холин, 2005); проєкти, які виконувала певна кафедра (Біланчин, 2012), структурно-реорганізаційні моменти (Ващенко та ін., 2011). Автори зазначають також напрями підготовки студентів, дисципліни, які викладаються, навчальні практики, описують обладнання і навчальні лабораторії,

подальше працевлаштування випускників, підготовку навчально-методичної літератури, теми науково-дослідної роботи (Борбачева, Саржан, 2011; Гавриленко, 2011 та ін.).

Теми публікацій в реферативній базі Scopus зосереджені переважно навколо більш крупних структурних підрозділів – інститутів та університетів (Kortus, 2001; Shibanov, 1981). Вони доповнюються обґрунтуванням потреби і ролі географії в певному навчальному закладі (Warkentin, 2008), розвитком науки від допоміжної дисципліни до факультету. Науковці зі Східної і Центральної Європи також приділяють увагу висвітленню результатів діяльності своїх науково-освітніх установ (Kozerski et al., 2010; Příbyl, 2006; Younsi, 2015). Виділяються ґрунтовністю публікації естонського дослідника Отта Курса з університету м. Тарту (Kurs, 1996), П. Калімана з Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна (Kaliman, 2000). В Україні найбільше уваги популяризації своїх підрозділів приділяють вчені з технічних і фізико-математичних наук, біології, філології та мистецтв. Спільна риса всіх публікацій на цю тему – єдиний «формат» дослідження, який передбачає виділення блоків за певними етапами розвитку організації



(Kurs, 1996), проте поза увагою дослідників залишається багато важливих аспектів освітньої та наукової діяльності.

Історію кафедри геодезії та картографії детально досліджували її співробітники: Лариса Олегівна Палієнко (Палієнко, 2009), Віктор Олексійович Шевченко (Шевченко, 2009, 2011), Анатолій Миколайович Молочко (Молочко, 2003). Статистичну інформацію про рух особового складу кафедри зібрано Барановою Лідією Василівною. Вищезазначені праці та консультації співробітників і випускників кафедри стали часовим каркасом цього дослідження.

### **Матеріал і методи**

Окрім порівняння, аналізу, узагальнення та систематизації літератури та нормативно-правових документів, опитування працівників кафедри, використовувався метод ментального картографування. Ментальні карти (англ. mind maps) — це спеціальні графічні схеми, на які наносяться ключові структурні елементи і зв'язки між ними. Метод «чорного ящика» застосовувався для визначення прихованих від спостерігача наукових методів, компетенцій, способів за результатами застосування останніх. Було використано технологію «конструктор», призначену для формулювання концепцій, бізнес-планів, стратегій.

Метою статті є розкриття теми розвитку кафедри геодезії та картографії географічного факультету КНУ імені Тараса Шевченка як наукової й освітньої одиниці в ракурсі вимог до структури дисциплін і компетенцій, які мали бути сформовані у студентів. При цьому має бути дотримано хронологічну послідовність і виділено головні структурно-реорганізаційні події. Також потрібно встановити причинно-наслідкові зв'язки між кадровою політикою, науковою й освітньою діяльністю – з одного боку, та зовнішньоекономічними умовами та середовищем всередині організації

(інституту чи факультету) – з іншого.

### **Результати та обговорення**

28 серпня (9 вересня) 1834 р. почав діяти Київський університет Святого Володимира (сьогодні Київський національний університет імені Тараса Шевченка). Як прообраз сучасної, кафедру астрономії та геодезії було засновано у 1838 р. на математичному відділенні філософського факультету. Геодезію та математичну картографію викладали визнані спеціалісти-практики В. Ф. Федоров, А. П. Шидловський, І. І. Федоренко, І. О. Востоков та інші. Впродовж перших 30 років існування зазначеної кафедри, астрономо-геодезичні дослідження на території України були виключним напрямом її дослідницької роботи.

Часом заснування кафедри геодезії офіційно вважається 1933 р. – рік утворення геолого-географічного факультету у відродженому після тривалої перерви Київському державному університеті (впродовж 1920-1933 рр. він називався Київський вищий інститут народної освіти). З виникненням потреби у фаховій підготовці картографів, кафедра увійшла до складу заснованого у 1944 р. географічного факультету, вже під сучасною назвою.

Впродовж довоєнного періоду одночасно із навчальною діяльністю на кафедрі здійснювалися наукові дослідження, але, як правило, по геодезії і кадастру. Великих зусиль для налагодження фахової підготовки геодезистів доклали перші завідувачі кафедри, професори П. К. Нечипоренко (1933-1937 рр., у 1937р. він був репресований); В. Г. Леонтович (1944-1946 рр.); к.с.-г.н., доц. М. М. Белонін (1946-1953 рр.); к.т.н., доц. П. І. Михайловський (1953-1954 рр.) (Палієнко, 2009). В той час ця науково-освітня одиниця налічувала 5 штатних посад: професор, доцент, асистент і 2 лаборанти.

У другій половині ХХ ст. актуальною стала проблема географізації картографії. Очолити

кафедру в 1954 р., к. т. н., проф. А. С. Харченко (працював на цій посаді впродовж 1954-1980 рр.) докорінно змінив навчально-методичні засади підготовки фахівців-картографів. Разом з фундаментальними науками (математика, фізика, хімія), до навчального плану було включено таку дисципліну, як-от: геологія, фізична та соціально-економічна географія, гідрологія, метеорологія, геоморфологія. А. С. Харченко були запрошені до викладання провідні спеціалісти з інженерної геодезії, фотограмметрії, математичних методів, картоскладання і атласного картографування: М. Г. Відуєв, П. І. Михайловський, В. М. Сердюков, А. Г. Григоренко, О. Ф. Трємбачев, Є. Д. Десятов, М. О. Корольова, В. В. Пастух, Г. О. Первухін, К. І. Дрич.

Згідно зі світоглядом А. С. Харченка, професійна підготовка фахівців мала включати повний цикл створення картографічних творів. Такий спеціаліст міг освоїти будь-який процес на підприємстві – від астрономо-геодезичних спостережень до видання картографічної продукції. Ця схема підготовки повністю виправдовувала себе за планової економіки. Поступово в навчальні плани впроваджувались нові курси, зокрема: ЕОМ і програмування, організація і планування картографо-геодезичного виробництва, основи автоматизації картоскладальних робіт, навчальні й туристичні карти, морська картографія тощо (Палієнко, 2009).

В 1958-1960 рр. А. С. Харченко обіймав посаду декана географічного факультету. Тоді ж ним була створена наукова група у складі 3-х чоловік, завданням якої було здійснення досліджень і створення Атласу Київської області (виданий у 1962 р.). З цього ж року почалось розроблення науково-довідкового твору «Атлас природних умов и естественных ресурсов Украинской ССР», виданого у 1978 р. У зв'язку з виникненням потреби у спеціальному науково-

виробничому підрозділі для розроблення атласу, в 1964 р. було створено лабораторію комплексного картографування виробничих сил Української РСР. Згодом ця лабораторія структурно увійшла до складу Сектору географії АН УРСР, де на її основі було створено відділ картографії. На кафедрі залишилась науково-дослідна група, яка складала Шкільний краєзнавчий атлас Української РСР. У 1972 р. її реорганізували у лабораторію комплексного картографування, а в 1975 – приєднали до гідрохімічної лабораторії.

На початку 1970-х років на кафедрі існувало 7 структурних підрозділів: учбовий кабінет картографії і 6 лабораторій (геодезії та топографії, фотограмметрії та стереофотограмметрії, технології складання та видання карт, тематичного картографування, видання карт, аерометодів). Їх фонди коштували понад 500 тис. крб. Кафедра щорічно виконувала бюджетні та госпдоговірні наукові роботи на суму приблизно 150 тис. крб., з них близько 40% належало картографо-геодезичній експедиції Студентського проектно-конструкторського бюро, створеного на географічному факультеті в 1967 р.

За час керівництва А. С. Харченка кафедра перетворилась на потужний навчально-науковий осередок: у 1980 р. її штат налічував 68 співробітників: професорсько-викладацький склад – 12, у т. ч. 2 професори, 7 доцентів і кандидатів наук, інженерно-технічний склад наукової групи – 6, госпдоговірна тематика – 38. При кафедрі діяли аспірантура, інститут пошукувачів і щорічно стажувались викладачі інших вузів. Науково-виробничу практику студенти проходили в польових експедиціях, на картографічних фабриках і в науково-дослідних інститутах по всьому СРСР.

Говорити про формування науково-педагогічної школи

А. С. Харченка дозволяє той факт, що значна частина випускників кафедри залишилися працювати на ній. Їх можна назвати «молодими викладачами», які після обрання на посаду зосередились на викладацькій діяльності і досягли успіху у цій сфері. Вони мали невеликий виробничий стаж, їх професійна кар'єра часто обмежувалась кількома роками роботи за розподілом або в науково-дослідному інституті, в аспірантурі якого готувалась кандидатська дисертація. Тому їх навчальні програми не завжди враховували технологічні й організаційні підходи до роботи, які існують на підприємствах. Згодом, відірваність від виробництва зумовила потребу стажування викладачів, особливо у 1990-і роки. З іншої сторони, цей факт передбачав відсутність відчуття конкуренції з боку студентів за майбутні замовлення, тому професійний викладач міг поділитись найбільш важливими знаннями. Ідеальним могло бути поєднання викладацької діяльності й участі у розробленні новітніх технологій. Тому потенційно найкращим викладачем мав бути науковець (не бізнесмен чи виробничник), що характерно для навчальних закладів Західної Європи і США.

Впродовж тривалого часу в університет мала місце концепція: «один професор – одна кафедра». Суть її полягає в наявності переважно одного лідера, як правило, доктора наук, професора, який очолює колектив і визначає навчальну, наукову а відтак і кадрову політику кафедри. Інші викладачі, які запрошуються на роботу або готуються із студентів, не можуть становити конкуренцію завідувачеві. Недоліком такого підходу є відсутність кількох «центрів думки», а відтак і «дискусійного середовища», в якому всі питання мають право на обговорення. Це приводить до погіршення якості навчання і втрати перспективних напрямів розвитку спеціальності, відтоку спеціалістів і появи

конкуруючих кафедр, ними очолених.

У 1980-1992 рр. кафедру очолював д.т.н., проф. В. М. Сердюков, засновник та лідер наукової школи інженерної геодезії та фотограмметрії. В 1980 р. на базі картографічної групи було створено Сектор геодезії і картографії у складі Проблемної науково-дослідної лабораторії гідрохімії. Згодом, завдяки розширенню госпдоговірної тематики, сектор почав виконувати наукові дослідження з декількох напрямів – геодезії, картографії та фотограмметрії. З 1983 р. діяла Науково-дослідна лабораторія геодезії, картографії і фотограмметрії, її штат налічував близько 50 співробітників.

З кінця 80-х років скорочується кількість госпдоговірних тем, оскільки лабораторія орієнтувалась на виконання замовлень державних підприємств. Створення історико-географічного атласу Києва не було доведено до кінця у зв'язку з погіршенням економічної ситуації і скороченням фінансування. З початку 1990-х років лабораторія існувала переважно за рахунок бюджетних тем. Останні давали можливість зберегти наукову частину в університеті і невеликий штат співробітників, а разом з ними і статус «дослідницького» закладу (Про затвердження Положення про дослідницький університет..., 2010; Програма розвитку науково-інноваційної діяльності..., 2020 р.).

У революційний для вітчизняної картографії час (1992-1995 рр.) честь очолити кафедру випала д.т.н., проф. А. Г. Григоренку. Розпад Радянського Союзу і відкриття кордонів зумовили проникнення новітньої техніки і технологій. Особливо це стосувалось цифрового обладнання і абсолютно нових засобів роботи з інформацією, а точніше – нової інформаційної платформи, в ролі якої виступали персональні комп'ютери. Їх обчислювальні можливості дозволяли моделювати роботу професійного обладнання й інструментів різних сфер діяльності

людини – від роботи з текстом до музики, графіки й анімації. Інформатика дала свободу творчості фахівцям і, головне, нефахівцям. Для того, щоб записувати музику, відпала необхідність мати спеціальну освіту та інструменти. Їх віртуальні аналоги можуть замінити цілий оркестр. Це торкнулося і картографії. Виявилось, що для створення карт не потрібно бути картографом і мати креслярське приладдя, бланковки і картоснови. Достатньо вивчити геоінформаційну систему і редактор векторної графіки. Це зумовило різке зниження потреби в картографах. Звичайно, останні продовжували утримувати монополію на географічні дані, накопичені впродовж десятиліть. Зокрема, це стосувалось топографічних карт. Проте компактні цифрові географічні основи цілком придатні для створення якісних тематичних карт. Цей процес прискорила доступність нелицензійного програмного забезпечення.

Використання складних технологій і дорогого обладнання для виготовлення карт могло вплинути на ситуацію. Комп'ютер із RAID-контролером, SSD-накопичувачами, трьома моніторами, стереоскопом, кількома відеокартами, мишками, штурвалами й іншими дорогими пристроями введення-виведення суттєво зменшує бажання нефахівця самому долучитися до «магії картографування». Використання програмування, автоматизації, постійне освоєння нового програмного забезпечення і застосування великої кількості складних технологічних прийомів також можна розглядати як певний захист від представників нетехнічних спеціальностей.

В цей час (1990-1998 рр.) підготовка фахівців передбачала вивчення класичних (нецифрових) технологій складання і видання карт. До певної міри це пояснювалось економічною кризою і відсутністю достатньої кількості техніки. Небагато студентів мали вдома комп'ютер. В цей період почалося найбільше відставання

між програмою підготовки і потребами виробництва. Фраза «забудьте все, що ви вивчали в університеті та починайте навчатись заново!» якнайкраще характеризує той період.

Розпад Радянського Союзу і перехід до ринкових економічних відносин виявив прогалини у підготовці спеціалістів по геодезії та картографії. Виявилось, що профільних знань недостатньо. Актуальними стали організаційно-економічні здібності. Вміння знайти замовника і заключити договір, організувати його виконання, вписавшись у строки і бюджет могли стати суттєвими конкурентними перевагами випускників. В той час, класична навчальна програма не дозволяла готувати спеціалістів, здатних започаткувати власну справу (як зараз прийнято казати – стартап).

Крім того, викладання далеко не простої організаційно-економічної складової ставило певні вимоги до педагогів. В ідеалі, до початку викладацької діяльності їм було необхідно попрацювати на кількох підприємствах з різними формами оплати праці, а також на посаді не нижче керівника відділу. Проте порівняно не високий рівень заробітної плати не давав можливості залучити спеціалістів такого рівня. Але й це не гарантувало належної підготовки – існували випадки «відокремлення» студентів від найбільш важливих економічних і організаційних знань. Таке «відокремлення» проявлялось, наприклад, у виборі тем для курсових і дипломних робіт. Наукові керівники рекомендували явно застарілі теми. Віталось розроблення окремих технологічних процесів, як-то створення топографо-геодезичного обґрунтування, нівелювання, виготовлення карт у певних програмних продуктах тощо. З прохолодою сприймалися дослідження повного циклу виробництва продукції. Теми по фінансово-економічній діяльності та інноваційні сприймалися критично, а наукові статті на

відповідну тематику проблематично було опублікувати у профільних рецензованих вітчизняних виданнях.

З 1995 року кафедру очолив к.г.н., доц. А. М. Молочко, який до того часу завідував науково-дослідною лабораторією геодезії, картографії і фотограмметрії (з 1990 р.). Завідуючим лабораторією став ст. н. с. В.О. Шевченко (д. г. н. з 1997р.).

З 1998 року кафедра готувала спеціалістів за єдиним, узгодженим із усіма напрямками підготовки на факультеті навчальним планом, який передбачав приблизно 1500 год., відведених на обов'язкові гуманітарні та соціально-економічні дисципліни, 1000 год. на фундаментальні загальнонаукові дисципліни, 1800 год. на професійно-орієнтовані дисципліни та 2546 год. фахових дисциплін, що включали 752 години спецкурсів та семінарів. Це дозволяло готувати інженерний і молодший науковий склад в межах вибраної спеціальності, тобто, висококваліфікованих виконавців, здатних самостійно приймати рішення виробничого характеру.

Перехід на електронні технології зумовив наявність численної (і досить дорогої) техніки в розпорядженні картографа. Це викликало необхідність включення в програму підготовки електроніки, інформатики та програмування. Перша мала розглядати компонентну базу. На заняттях з інформатики вивчалась не класика, починаючи з двійкової системи, а підготовка власного робочого місця, встановлення програм і налаштування операційної системи. Не дивлячись на поширений в економічно розвинутих країнах «професійний» підхід і жорсткий розподіл обов'язків, які передбачають звернення (краще регулярне) до авторизованих сервісних центрів за першої ж несправності, наявність компетенцій з програмування (чи хоч би базових знань про роботу електроніки) дозволяли суттєво підвищити ефективність роботи

картографічного підприємства. Отже, сформувався концепція спеціаліста не тільки як картографа, географа, а й спеціаліста з електроніки та програмування.

Нова стандартизована інформаційна платформа зумовила взаємопроникнення дисциплін і домінування в картографії геоінформатики. Остання стала самостійною не стільки в технічному, скільки у понятійному значенні, все частіше домінуючи у назвах кафедр і спеціальностей. З 2005 року у зв'язку з розвитком геоінформатики місце картографії в міждисциплінарному геоінформаційному просторі стало дискусійним. Виникло таке поняття, як «картографічне роздоріжжя» (Володченко, 2009).

Криза 90-х зумовила зниження заробітної плати викладачів, що почало проявлятися у суміщенні посад. Це сприяло проникненню на кафедру нових інформаційних технологій, оскільки в другій половині 90-х років майже всі підприємства перейшли на комп'ютеризований процес складання карт і оброблення топографо-геодезичних вимірювань. Зовнішнє і, особливо, внутрішнє суміщення, яке автор мав можливість спостерігати на початку 2000-х рр. після вступу в університет, дозволяло по-новому усвідомити процес організації власної трудової діяльності і оцінити переваги спеціальності. Робота в кількох установах за кількома напрямками діяльності до певної міри забезпечувала імунітет від звільнення, вищу середньої заробітну плату, розширювала коло спілкування і позитивно впливала на отримання індивідуальних замовлень. Крім того, у сумісників можна було навчитись ефективній організації робочого часу.

Загалом період з 2000 по 2007 рр. характеризується економічним зростанням, яке позитивно вплинуло на розвиток кафедри. В 2002-2003 рр. на ній працювало 16 чол. професорсько-викладацького складу. Збереглися навчальна лабораторія

чисельністю 8 чол. і НДЛ «Картографії та геоінформатики» у складі 6 чол. (Молочко, 2003). З початку 2003 р. у зв'язку з виконанням робіт, пов'язаних з використанням ПС, за лабораторією закріплено нову назву «Картографії та геоінформатики» (Шевченко, 2009).

1983-1987 рр. в УРСР характеризуються піком народжуваності. Відповідно, під час вступних кампаній 2000-2004 років конкурс на місця був максимальним. Це зумовило збільшення кількості навчальних закладів, як приватних, так і державних. Почали відкриватися кафедри подібного спрямування, наприклад, однойменна кафедра в Національному університеті біоресурсів і природокористування України. Після Чорнобильської катастрофи і з падінням життєвого рівня населення народжуваність почала зменшуватись, що проявилось через відповідний час. Починаючи з 2008 р., абітурієнтів стало не достатньо для заповнення навіть бюджетних місць у вищих навчальних закладах. Звичайно, найкращою рекламою є якісна освіта, яка передбачає високу заробітну плату для спеціалістів відповідного профілю. Водночас, зменшення кількості абітурієнтів приводить до зниження конкурсу та їх початкового рівня підготовки.

Описана вище ситуація приводить до такого поняття, як «точка неповернення». Уявімо кафедру закладу вищої освіти, на якій якість викладання, популяризація профілю підготовки, наукова робота і кадрова політика суттєво переважають ці показники у конкурентів. Випускники цієї кафедри влаштовуються на престижні і добре оплачувані посади, швидко рухаються кар'єрними сходами, стають відомими спеціалістами. Як наслідок, зростає престиж установи, збільшується конкурс серед абітурієнтів, який дозволяє вибрати більш розвинутих, розумних і підготовлених студентів. Останні досягають ще більших успіхів у навчанні, здійснюють підтримку

своїї «alma mater» на всіх рівнях – від державного до адміністрації навчального закладу. Обрання на посаду найбільш кваліфікованих викладачів дозволяє додатково покращити рівень підготовки студентів.

В протилежному випадку, зі зниженням рівня навчання зменшується конкурс на цю спеціальність. Він може сягнути одного чоловіка на бюджетне місце. Це не тільки не дозволяє вибрати кращих абітурієнтів, а й ускладнює відрахування неуспішних студентів, оскільки це приведе до скорочення штату викладачів. Відповідно до постанови Кабінету міністрів України № 1134 (Про затвердження нормативів чисельності студентів..., 2006), кількість викладачів залежить від кількості студентів і це співвідношення складає 1:12 (для географічних спеціальностей). Студенти це розуміють, що додатково зменшує якість навчання. Відповідно, викладачі змушені знижувати рівень викладання дисциплін, відходити від технологічних вимог, прийнятих виробництві. Набуває поширення явище «ручного керівництва» студентами під час виконання практичних і на навчальних практиках. Кафедра втрачає кадровий потенціал, зв'язки з підприємствами і, врешті-решт, адміністрація закладу приймає рішення про приєднання або ліквідацію цієї навчальної одиниці. Отже, «точкою неповернення» називається той час у діяльності кафедри, після якого суттєве покращення її роботи (в межах наявних ресурсів і кадрового складу) вже не зможе врятувати від серйозної реорганізації.

Для забезпечення набору на контрактне навчання деякі кафедри змогли організувати стажування або навчальні практики за кордоном (наприклад, готельно-ресторанного і туристичного спрямування). Можливість побувати в інших країнах зумовлювала затребуваність такої кафедри, навіть за високої конкуренції

між спеціалістами за робоче місце в галузі. Якщо ж навчальні заклади (переважно державні) продовжували підготовку за усталеною програмою і не забезпечували потрібної спрямованості навчання (комерційної, фінансової і юридичної), виникав попит на потрібні знання. Пропозицію надали приватні навчальні заклади, які почали масово виникати в цей період.

З 1999-2000-х років увага почала приділятися самостійній роботі студентів. Дійсно, наявність великої кількості літератури, особливо з інформаційних технологій, а також комп'ютерів у більшості з них дозволяло останнім з високою ефективністю самостійно вивчати програмне забезпечення, теоретичну частину дисциплін. Тим не менше, лекційний курс значною мірою дублював зміст підручників. В той час важливі питання, на зразок організації виробництва, управління робочими групами, якості і продуктивності праці, тобто ті, які не розкриті в літературі і потребують детального відпрацювання на практичних заняттях, залишились поза увагою. Деякі студенти могли відчувати, що їм викладають не найважливіші питання, проте вплинути на процес навчання не могли. Це зменшувало конкурентоздатність випускників на ринку праці. Ці важливі відомості студенти змушені були отримувати від батьків чи родичів вже на підприємствах, а також частково від своїх старших колег. Інформаційний вакуум з питань, вищих за професійні компетенції, змушував деяких із них прикладати зусилля, спрямовані на отримання цих відомостей поза стінами вищого навчального закладу.

Рівень відповідності освітніх програм виробничим потребам також не був постійним. Суттєво відстаючи з часу повної комп'ютеризації топографо-геодезичних і картографічних робіт (яка відбулася орієнтовно на кінець 90-х – початок 2000-х років), у 2005-2007 рр. рівень

технологій, якими володіли викладачі, наблизився до виробничого. Наступна хвиля «відставання» розпочалася приблизно після 2010 р. Її суть виявилася в ускладненні картографічних робіт внаслідок взаємної інтеграції програмного забезпечення. Якщо в першій половині 2000-х рр. студент вибирав, який графічний редактор (Macromedia Freehand, Adobe Illustrator чи Corel Draw) або ГІС (MapInfo чи ArcGIS) йому освоювати, залежно від передбачуваного місця роботи, то через 10 років цей вибір став однозначним – усі. Автору доводиться працювати в 5-ти ГІС (вже вказані, а також Digitals, Panorama і QGIS), з дещо меншою кількістю векторних і растрових редакторів, систем автоматизованого проектування, сімейств операційних систем.

Отже, викладання цифрової картографії потребувало переходу від орієнтації на певний програмний продукт до засвоєння технологій (звичайно, на прикладі їх реалізацій і конкретних програм). Увага мала концентруватися на спільних рисах і особливостях роботи у визначених галузях, щоб картограф не залежав від програмного продукту чи підходів до виконання роботи, прийнятих на певному підприємстві, а випускник за потреби міг швидко (впродовж тижня-двох) освоїти базові можливості програми. В протилежному випадку неминучим був «конфлікт технологій» під час виконання спільних проектів.

Ускладнення професії і відкриття кафедр із подібною спеціальністю суттєво змінило вимоги до роботи колективу. Важливим завданням адміністрації стало формування працездатної команди і створення умов для її роботи, тобто перехід від «адміністративного управління» до «адміністративного забезпечення». Розроблення і запровадження раціональних, зрозумілих і прозорих «правил гри» і контроль за їх дотриманням дозволяли уникнути ручного розподілу обов'язків між



співробітниками: кожний з них сам знаходить своє місце в колективі, інакше в ньому не буде потреби. Правильна кадрова політика мала сприяти прояву можливостей фахівців, прямо не пов'язаних із їх професією, максимально ефективному виконанню індивідуальних і колективних задач. Проте люди можуть приховувати організаційні, мистецькі та технічні здібності не тільки від адміністрації, а й від колег, якщо їх виявлення супроводжується збільшення кількості обов'язків без пропорційного покращення умов роботи чи заробітної плати. Цьому сприяє і обрання на посади спеціалістів, несумісних між собою (різного віку, з протилежним світоглядом, зовсім різними можливостями, досвідом роботи і підходом до її виконання тощо), при всьому бажанні вони не могли повноцінно взаємодіяти.

Така ситуація допускалась за часів існування Радянського Союзу, коли ресурси, отримані за рахунок продажу сировини, перенаправлялися в інші галузі, в тому числі в освіту. Отримання Україною незалежності і запровадження ринкових відносин стали першими кроками до самоокупності вищої освіти (як і всіх інших галузей господарства). В конкурентному середовищі наявність працівників, які не повертають (у вигляді роботи) затрачені на них кошти, поступово ослаблюватиме кафедру і остання втрачатиме місце на факультеті, фонди, престиж, студентів, кваліфікованих викладачів. Це зробило актуальним питання економічної обґрунтованості обрання на посаду чи утримання на ній конкретного спеціаліста.

Сучасна кадрова політика адміністрації ЗВО, на думку автора, має полягати у наданні переваг двом категоріям претендентів: висококваліфікованим спеціалістам, які мають неординарні здібності, самоорганізацію чи досвід та «людям зі зв'язками», які можуть вирішити важливі питання, пов'язані з

діяльністю кафедри. В ідеальному випадку ці можливості мають поєднуватись в одній людині. Решта працівників ослаблюють кафедру, не привносячи нічого, крім банального виконання обов'язків. Переведення всіх закладів вищої освіти на контрактну форму навчання із частковою (половинною) державною компенсацією оплати має покращити кадрову політику, підвищити якість і зменшити вартість навчання.

Важливими у вирішенні організаційних справ кафедри є зв'язки з колишніми випускниками. Впродовж років значну частину студентської аудиторії становили особи, які мали ті чи інші відносини із впливовими випускниками факультету. Ці зв'язки до певної міри спрощували процес складання вступних іспитів. Введено у 2006 році зовнішнє незалежне оцінювання знівелювало такі переваги і надало доступ до студентських аудиторій талановитим «абітурієнтам без переваг». Негативним наслідком цієї реформи стало послаблення взаємодії між випускаючими кафедрами і підприємствами галузі. Молоді спеціалісти не мають чим допомогти кафедрі у вирішенні організаційних питань, а діти і знайомі впливових випускників тепер можуть обирати професію без прив'язки до вибору їх родичів і без огляду на наявність подальшого місця роботи.

Зв'язками з виробництвом була зумовлена й дуже ліберальна політика університету стосовно студентів. Саме це дозволяло останнім зосередитись на освоєнні найбільш потрібних, як вони вважали, дисциплін і номінально виконати навчальний план з інших, менш потрібних предметів, на зразок землезнавства чи фізичної географії.

В 2012 році кафедра майже в незмінному складі перейшла до Даценко Людмили Миколаївни. Було здійснено ряд заходів, спрямованих на популяризацію кафедри і напряду підготовки, зокрема, зустрічі персоналу кафедри з першим курсом

студентів, створення стенду і оновлення сайту кафедри, а також кроки у забезпеченні навчального процесу геодезичними інструментами.

Особливістю працевлаштування в університеті є контрактна система (з викладачами університет заключає контракт на 1-7 років, з науковими співробітниками – лише на рік), яка не дає змоги розглядати роботу в університеті як постійну і стабільну. Це, і відносно невисока заробітна плата, приводять до суміщення посад. З іншого боку, тривалий чи «пожиттєвий контракт» не мотивує викладача підтримувати зв'язки з виробництвом і підвищувати свою кваліфікацію.

Одною із віх кадрової політики кафедри був і залишається «консерватизм», тобто намагання утримати кадровий склад більш стабільним, згладити особливості контрактної системи. Така політика дає можливість викладачам і науковим співробітникам зосередитись на науковій і викладацькій роботі, підвищенні професійного рівня, а не на особистих взаєминах, демонстрації власних досягнень, що дає змогу формувати більш здорову атмосферу у колективі. Також вона дозволяє зберегти спеціалістів, які не можуть обіймати посаду викладача, але беруть участь у вирішенні важливих організаційних питань. Негативною стороною такої політики є відсутність мотивації і «професійне вигорання» працівників. Конкуренція з викладачами інших ЗВО сприяла би підвищенню кадрового потенціалу кафедри і зміцненню трудової дисципліни співробітників.

У 2013 р. кафедра втратила свою науково-дослідну частину. Причиною цього стало скорочення фінансування і відсутність госпдоговірних тем, тобто, зовнішніх замовлень. Це, у свою чергу, було зумовлено високим рівнем оподаткування таких суб'єктів господарської діяльності, відсутністю обладнання, непрацездатною командою, яка складалась із зовсім

різних співробітників із слабкими компетенціями в організації виробництва. До недоліків кадрової політики факультету можна додати внесення додаткових обов'язків для спеціалістів, які мали підприємницький хист і заключали договори із зовнішніми організаціями, що ставило під загрозу виконання вже укладених договорів із подальшим їх звільненням. Цим же закінчувалась кар'єра працівника, який «вичерпав» свої ресурси внаслідок «роботи на перспективу». Ці проблеми привели до виникнення такого поняття, як «економічна безпека працівника».

Взагалі, доцільність існування лабораторії ставилася під сумнів ще з 2002 р. Натомість, у підпорядкування кафедри з Київського національного університету будівництва і архітектури перейшла лабораторія під керівництвом Тарасенка М. І., яка надає послуги у сфері геодезії. В 2016 р. адміністрація університету відмовилась захищувати останнього у штат кафедри у зв'язку зі скороченням співробітників, тому питання існування наукової частини кафедри залишається відкритим.

Економічна криза 2008 року, спад виробництва 2013 року, зумовлений черговою революцією і війною на сході України, зробили актуальними нові вимоги до підготовки спеціалістів по геодезії та картографії. Одною з таких вимог стала потреба використання економічних здібностей кожного виконавця під час планування і виконання виробничих завдань, моделювання процесу виконання роботи. Відповідно, під час навчання увага має приділятися логіці вирішення задач, типам виробничих процесів і способам їх вирішення. Це можна порівняти з грою в шахи: методика виконання робіт має продумуватись так, як шахіст прораховує ходи і їх наслідки. Отже, до компетенцій зі спеціальності, інформатики, електроніки додалися знання з мікроекономіки й організації

картографічного виробництва.

Спрямованість на інтеграцію з Європейським Союзом підкреслили необхідність володіння іноземною мовою (в першу чергу, англійською). Наявність економічної освіти (або юридичної, тобто, другої вищої), наукового ступеня стала вкрай бажаною для спеціалістів, які претендують на керівну посаду. Для опанування такого величезного обсягу компетенцій 5 років навчання у ЗВО і 3-х років перебування в аспірантурі виявилось не достатньо. Тому було прийнято рішення про перехід до 6-ти і 4-річної підготовки відповідно. Проте це екстенсивне рішення не могло радикально покращити ситуацію. Виявилось, що магістри і кандидати наук не тільки значно гірше за випускників шкіл знають базові предмети (фізику, хімію, математику), але й на виробництві колишні школярі і студенти технікумів показують кращі результати в освоєнні нових методик і програмного забезпечення. Настала потреба змінювати всю систему вищої освіти. На офіційному рівні це проявилось таким чином.

1. Суттєве скорочення аудиторних годин з метою вивільнення часу на роботу за сумісництвом по спеціальності. В свою чергу, це має привести до скорочення викладачів, здешевлення навчального процесу і, як наслідок, зменшення навантаження на економіку держави. Також цей додатковий час може бути використаним на самостійне освоєння дисциплін, що може бути ефективнішим за відвідування аудиторних занять.

2. Вибір студентами до 25% дисциплін, що дозволить здобувачам впливати на актуальність отримуваної освіти.

3. Навчання впродовж життя – нова концепція системи освіти загалом. Передбачала ліцензування багатьох видів діяльності і регулярне проходження курсів підвищення кваліфікації, що переносило частину витрат на самих співробітників і

підприємства.

На думку автора, зміна концепції підготовки магістрів і кандидатів наук мала зміститись від навчання конкретним дисциплінам на «навчання думати, навчання працювати і навчання навчатись» на прикладі дисциплін спеціальності. Тобто, весь навчальний процес мав перебудуватись таким чином, щоб сприяти розвитку професійних, розумових, вольових здібностей спеціаліста, орієнтувати його на вирішення будь-якої виробничих, життєвих, наукових задач довільної складності за допомогою характерного для галузі методологічного апарату (а кандидатів наук – всього спектру наукових методів). Звичайно, це навчання не мало бути чимось на зразок йоги чи арабської філософії, а освоєні методи мали досконало закріплюватись шляхом виконання практичних завдань по спеціальності. Не передбачалась зміна назв предметів, а лише вдосконалення методики викладання.

Така методика до певної міри суперечить концепції, характерній для технічних спеціальностей – відбір студентів з високим потенціалом і навчання їх лише професійним предметам. Загалом, географічний факультет і картографія за рівнем престижу і заробітної плати не можуть претендувати на найкращих випускників спеціалізованих шкіл. Відповідно, підготовка студентів має відрізнятись від провідних технічних спеціальностей. Частина роботи має бути спрямована на подолання різниці, яка є між звичайними і обдарованими дітьми. Це і мало бути відмінною рисою кафедри – підготовка спеціалістів таким чином, щоб максимально наблизити розмір їх заробітної плати до цього показника у випускників технічних інститутів.

Робота кафедри в умовах конкурентного середовища передбачає розширення профілю підготовки студентів і ліцензування нових спеціальностей. Інститут геодезії

Львівської політехніки ліцензував шість спеціальностей завдяки наявності у штаті спеціалістів відповідних профілів. Кадрова політика інституту більш довгострокова і орієнтована на підготовку своїх кадрів, що проявляється ще на етапі вибору тем курсових робіт, які розвиваються в дипломних роботах і дисертаціях. В той же час, новітні теми підвищують якість студентських досліджень і унеможливають копіювання з Інтернету більшої частини інформації.

Вартість навчання за контрактом в Київському Університеті імені Тараса Шевченка завжди була вищою за цей показник в інших ЗВО. Як це не парадоксально, контрактна форма не вигідна для університету, оскільки витрати на утримання викладачів, навчально-допоміжного персоналу і приміщення (із врахуванням оподаткування) вищі за оплату, яку вносять студенти. Різниця компенсується за рахунок державного замовлення. Такий стан справ зумовлений високою заробітною платою викладачів, яка більш, ніж на 80% вища, ніж в інших університетах. У 2015 р відбулось чергове підвищення розміру плати за навчання. Відповідно, набір на контрактну форму став незначним (2-3 ос.). Для порівняння, в Національному транспортному університеті студент платить удвічі менше, кількість контрактників перевищує держзамовлення в 2-4 рази. Національний університет має компенсувати таку різницю в оплаті більш якісним навчанням.

Одною із рис системи освіти (а також певних галузей виробництва) колишніх радянських республік є так звані «династії», тобто наслідування професії. Це можна було б вважати проявом корупції, якби не одне «але». Передача професії від батьків до дітей, особливо з-поміж адміністрації, може свідчити про певну перспективу роботи в галузі, наявність достойних місць для працевлаштування і не нижчої за середню заробітну плату.

Масове намагання влаштувати нащадків за кордоном або у сфері, зовсім не пов'язаній з професією батьків (наприклад, юридичній, фінансовій чи економічній) може наштовхнути на певні роздуми щодо майбутнього галузі.

Подальше загострення економічної кризи дозволило виявити і сформулювати суть радикального підвищення вимог роботодавців до пошукувачів. В дослідженні структури компетенцій випускників, яке автор розпочав ще у 2004 р., було зафіксовано певний результат.

Професійні знання, а саме володіння програмним забезпеченням (хоча б одною ПС, редактором векторної і растрової графіки, офісними програмами на професійному рівні), а також знання по спеціальності стали невід'ємними для випускника, який бажає працювати по спеціальності. Можна виділити окреме місце для іноземної мови. Друга вища освіта є бажаною для лінійних або керівників економічного відділу. Це є основою.

На рівень вище розташовуються особистісні якості – вміння працювати в команді, лідерські і комунікаційні здібності, емпатія, зовнішній вигляд (презентабельність). Ще вище, але цього ж порядку – комерційні, творчі й аналітичні здібності (наприклад, вміння запропонувати ідею, яка принесе прибуток підприємству). Вершиною цього блоку є «вміння думати, працювати і навчатись». Останні 3 компетенції фактично утворюють «когнітивну платформу», дозволяючи людині стати до певної міри геніальною. Навчання студентів на такому рівні позбавить кафедру конкурентів на найближчі два десятиліття.

З початком вторгнення росії в лютому 2022 р. перед абітурієнтами відкрилися нові можливості з навчання і перебування за кордоном. Відповідно кафедрі геодезії і картографії доводиться конкурувати із навчальними підрозділами Польщі,

Чехії, а також Німеччини і Іспанії, тобто з центрально- і західноєвропейськими країнами. Знищені промислові підприємства і енергетична криза, яка насувається, додатково зменшують бажання абітурієнтів пов'язати свою долю із Україною. Відповідно, кафедру вибирають лише молоді люди із небагатих сімей, часто віддалених населених пунктів, оскільки навчання у найбільш відомому столичному ВНЗ має перевагу із місцевим училищем або технікумом.

#### **Висновки**

1. Поняття життєвого циклу актуальне не тільки для підприємства, але і для науково-освітньої одиниці – кафедри. Можна виділити етап *заснування*, коли чітко виявляється потреба у фахівцях відповідної професії; *росту*, за якого кафедра розробляє вибраний напрям і розширює свою спеціалізацію; *стабільності*, впродовж якого досягнуто насичення ринку спеціалістами відповідного профілю; і *занепаду*, коли кафедра намагається зберегти набір студентів і уникнути скорочення штату.

2. Існування кафедри підкоряється тим же економічним законам, що і розвиток підприємства. Відмінністю є значно довший час реакції ринку на якість роботи навчальної одиниці. Неefективна діяльність може проявитись через багато років, в той час, як деяке підвищення якості навчання не може швидко виправити ситуацію. Для освітніх установ є справедливим таке явище, як «точка неповернення».

3. Причинами занепаду кафедри

можуть бути як зовнішні чинники (зміна потреби у спеціалістах внаслідок науково-технічного прогресу, різке скорочення державного фінансування), так і внутрішні (негативний баланс між заробітною платою і внеском персоналу кафедри, неправильна кадрова політика, відсутність розвитку спеціальності). Стабільному розвитку кафедри сприяють постійні і конструктивні зміни, які дозволяють уникнути накопичення негативних факторів, і, як наслідок, її суттєвої реорганізації або ліквідації.

4. Особливістю роботи кафедри геодезії та картографії КНУ імені Тараса Шевченка були відповіді на виклики часу, переважно із деяким запізненням. Нове положення до концепції її розвитку передбачає виявлення цих викликів і підготовку до них, а в перспективі – задання стандарту освіти у галузі.

5. Можна виділити такі періоди в структурі освітніх програм, за якими навчались студенти кафедри геодезії та картографії: переважання предметів по спеціальності та фізико-математичних дисциплін (до 2-ї пол. 1950 рр.); включення до навчального плану дисциплін географічного циклу (55-70-і рр.) і викладання повного циклу створення картографічної продукції; розвитку і модернізації – включення в навчальні плани актуальних дисциплін відповідно до розвитку виробництва (70-1994); перехід на цифрові технології створення і видання карт (1994-2005), впровадження Болонської системи, зміна напрямку підготовки (сучасний етап).

#### **Список використаних джерел**

Біланчин Я. М. Кафедри ґрунтознавства і географії ґрунтів Одеського університету — 45! *Вісник Одеського національного університету*, 2012. Т. 17. Вип. 2 (45). С. 8-12.

Борбачева Л. В., Саржан А. А. Кафедра истории и права Донецкого национального технического университета: исторический очерк. Донецк : ДонНТУ, 2011. 142 с.

Ващенко В., Дроздяк С., Смірнов Є. Історія розвитку кафедри геодезії і геоінформатики. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*, 2011.

Випуск II (22). С. 68-72.

Володченко А. Картосемиотика. Дрезден : Selbstverlag der Technischen Universität, 2009. 61с.

Гавриленко Ю. Кафедра геоінформатики и геодезии Донецкого национального технического университета. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*, 2011. Випуск 1 (21). С. 38-43.

Молочко А. М., Шевченко В. О. Діяльність кафедри геодезії та картографії – однієї з найстаріших у Київському університеті імені Тараса Шевченка. *Картографія та вища школа*, 2003. Вип. 18. С. 5-10.

Палієнко Л. О. Київська наукова школа тематичного та комплексного атласного картографування (1950-1980). Київ: Сталь, 2009. 180 с.

Перелік галузей знань і спеціальностей, за якими здійснюється підготовка здобувачів вищої освіти : за станом на 1 вересня 2015 р. / Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 29 квітня 2015 р. № 266.

Програма розвитку науково-інноваційної діяльності Київського національного університету імені Тараса Шевченка на період до 2020 року URL: [http://science.univ.kiev.ua/documents/rozvytok/Programs\\_rozvytok\\_innovation.pdf](http://science.univ.kiev.ua/documents/rozvytok/Programs_rozvytok_innovation.pdf).

Про затвердження нормативів чисельності студентів (курсантів), аспірантів (ад'юнктів), докторантів, здобувачів наукового ступеня кандидата наук, слухачів, інтернів, клінічних ординаторів на одну штатну посаду науково-педагогічного працівника у вищих навчальних закладах III і IV рівня акредитації та вищих навчальних закладах післядипломної освіти державної форми власності : за редакцією від 01.09.2006 [Електронний ресурс] / Постанова Кабінету міністрів України від 17 серпня 2002 р. N 1134. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1134-2002-п>.

Про затвердження Положення про дослідницький університет : за станом на 5 лист. 2014 р. / Постанова Кабінету міністрів України від 17 лютого 2010 р. N 163. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/163-2010-п>.

Холин Ю. В. 200 лет кафедре химического материаловедения Харьковского национального университета имени В. Н. Каразина. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Сер. Хімія*, 2005. Вип. 13 (36). С. 10-16.

Шевченко В. О. Науково-дослідна лабораторія картографії та геоінформатики Київського національного університету імені Тараса Шевченка як осередок картографічної діяльності. *Картографія та вища школа*, 2009. Вип. 13. С. 221-229.

Шевченко В. О. Осередок науково-дослідницької діяльності на кафедрі геодезії та картографії Київського національного університету імені Тараса Шевченка (діяльність до 2006 р.). *Часопис картографії*, 2011. Вип. 2. С. 181-191.

Kozerski B., Paczyński B., Sadurski A., Skrzypczyk L. Evolution of Polish hydrogeology. *Przegląd Geologiczny*. 2010. Volume 58. Issue 9. Part 1. P. 730-736.

Kortus B. From the history of institutional development of Polish geography. *Czasopismo Geograficzne*, 2001. Volume 72. Issue 3-4. Pages 245-258.

Kurs O. Institutions of geography in Estonia. *Geografiska Annaler. Series B*, 1996. Volume 78. Issue 3. P. 173-179.

Příbyl V. Fyzická geografie na Univerzitě Karlově v Praze. *Geografie-Sbornik CGS*, 2006. Volume 111. Issue 4. P. 368-381.

Warkentin J. 'Partially provided': Geography at the University of Toronto, 1844-1935. *Canadian Geographer*, 2008. Volume 52. Issue 3. P. 380-400.

Younsi O. Histoire vécue, histoire transmise: regards de psychiatres sur l'évolution du Département de psychiatrie de l'Université de Montréal. *Santé mentale au Québec*. 2015. Volume 40. Issue 2. P. 107-119.

**References (translated and transliterated)**

Bilanchyn, Ja. M. (2012) Kafedri gruntoznavstva i gheografiji gruntiv Odesjkogho universytetu — 45! [Department of soil science and soil geography of Odesa University celebrates 45!] *Visnyk Odesjkogho nacional'nogho universytetu [Bulletin of Odessa National University]*. 17. 2 (45). S. 8-12 [in Ukrainian].

Borbacheva, L. V., Sarzhan, A. A. (2011) Kafedra istorii i prava Doneckogo nacional'nogo tehničeskogo universiteta: istoricheskij ocherk [Department of History and Law of the Donetsk National Technical University: historical essay]. Donetsk : DonNTU. S. 142. [in Russian]

Vashchenko, V., Drozdyak, S., Smirnov, E. (2011) Istorija rozvytku kafedry gheodeziji i gheoinformatyky [History of the Department of Geodesy and Geoinformatics]. *Suchasni dosjaghnennja gheodezychnoji nauky ta vyrobnyctva [Modern achievements of geodetic science and production]* II (22). S. 68-72 [in Ukrainian].

Volodchenko, A. (2009) Kartosemyotyka [Cartosemiotics]. Dresden : Selbstverlag der Technischen Universität. 61s [in German].

Havrylenko, Yu. (2011). Kafedra geoinformatiki i geodezii Doneckogo nacional'nogo tehničeskogo universiteta [Department of geoinformatics and geodesy of the Donetsk National Technical University]. *Suchasni dosjaghnennja geodezichnoï nauki ta virobnyctva [Modern achievements of geodetic science and production]*. 1 (21). S. 38-43 [in Ukrainian].

Molochko, A. M., Shevchenko, V. O. (2003) Dijalnistj kafedry gheodeziji ta kartografiji – odniji z najstarishykh u Kyjivskomu universyteti imeni Tarasa Shevchenka [Activities of the department of geodesy and cartography - one of the oldest at Taras Shevchenko Kyiv University]. *Kartografija ta vyshha shkola [Cartography and higher education]*. 18. S. 5-10 [in Ukrainian].

Palienko, L. O. (2009) Kyjivska naukova shkola tematychnogho ta kompleksnogho atlasnogho kartografuvannja [Kyiv Scientific School of Thematic and Complex Atlas Mapping (1950-1980)]. Kyiv : Stal. S. 180 [in Ukrainian].

Pro zatverdzhennja pereliku ghaluzej znanj i specialnostej, za jakymy zdijsnujetsja pidgotovka zdobuvachiv vyshhoji osvity (2015) [On approval of the list of fields of knowledge and specialties for which higher education candidates are trained] / Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated April 29, 2015 No. 266. [Postanova Kabinetu Ministriv Ukraïny vid 29 kvitnja 2015 r. № 266. (Accessed: 29 November 2022) URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/266-2015-%D0%BF#Text> [in Ukrainian].

Programa rozvytku naukovo-innovacijnoji dijalnosti Kyjivskogho nacional'nogho universytetu imeni Tarasa Shevchenka na period do 2020 roku [Program for the development of scientific and innovative activities of Taras Shevchenko Kyiv National University for the period until 2020] (Accessed: 5 December 2022) URL: [http://science.univ.kiev.ua/documents/rozvytok/Programs\\_rozvytok\\_innovation.pdf](http://science.univ.kiev.ua/documents/rozvytok/Programs_rozvytok_innovation.pdf) [in Ukrainian].

Pro zatverdzhennja normatyviv chyselnosti studentiv (kursantiv), aspirantiv (ad'junktiv), doktorantiv, zdobuvachiv naukovogho stupenja kandydata nauk, slukhachiv, interniv, klinichnykh ordynatoriv na odnu shtatnu posadu naukovo-pedagoghichnogho pracivnyka u vyshhykh navchaljnykh zakladakh III i IV rivnja akredytaciji ta vyshhykh navchaljnykh zakladakh pisljadyplomnoji osvity derzhavnoji formy vlasnosti : za redakcijeju vid 01.09.2006 [On the approval of the standards for the number of students (cadets), graduate students (adjuncts), doctoral students, PhD candidates, trainees, interns, clinical residents for one full-time position of a scientific and pedagogical worker in higher educational institutions of the III and IV levels of accreditation and higher educational institutions state-owned post-graduate education institutions: as amended from September 1, 2006 / Postanova Kabinetu ministriv Ukraïny vid 17 serpnja 2002 r. N 1134. [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated August 17, 2002 N 1134] URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1134-2002-p> [in Ukrainian].



Pro zatverdzhennja Polozhennja pro doslidnyckyj universytet : za stanom na 5 lyst. 2014 r. [About the approval of the Regulations on the Research University: as of November 5, 2014] / Postanova Kabinetu ministriv Ukrainy vid 17 ljutogho 2010 r. N 163 [Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated February 17, 2010 N 163]. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/163-2010-p> [in Ukrainian].

Kholin, Yu. V. (2005) 200 let kafedre himicheskogo materialovedenija Har'kovskogo nacional'nogo universiteta imeni V. N. Karazina [200 years of the Department of Chemical Materials Science of Kharkiv National University named after V. N. Karazin]. *Visnik Harkivs'kogo nacional'nogo universitetu imeni V.N. Karazina. Ser. Himija. [Bulletin of Kharkiv National University named after V.N. Karazin. Ser. Chemistry]*. 13 (36). S. 10-16 [in Ukrainian].

Shevchenko, V. O. (2009) Naukovo-doslidna laboratorija kartoghrafiji ta gheoinformatyky Kyjivskogho nacional'nogho universytetu imeni Tarasa Shevchenka jak oseredok kartoghrafichnoji dijalnosti [Scientific research laboratory of cartography and geoinformatics of Taras Shevchenko Kyiv National University as a center of cartographic activity]. *Kartoghrafija ta vyshha shkola. [Cartography and higher education]*. 13. S. 221-229 [in Ukrainian].

Shevchenko, V. O. (2011) Oseredok naukovo-doslidnyckoji dijalnosti na kafedri gheodeziji ta kartoghrafiji Kyjivskogho nacional'nogho universytetu imeni Tarasa Shevchenka (dijalnistj do 2006) [Research Center at the Department of Geodesy and Cartography of Taras Shevchenko Kyiv National University (active until 2006)]. *Chasopys kartoghrafiji [Journal of cartography]*. 2. S. 181-191 [in Ukrainian].

Kozerski, B., Paczyński, B., Sadurski, A., Skrzypczyk, L. (2010) Evolution of Polish hydrogeology. *Przegląd Geologiczny*. 58. 9 (1). P. 730-736 [in English].

Kortus B. (2001) From the history of institutional development of Polish geography. *Czasopismo Geograficzne*. 72. 3-4. P. 245-258 [in English].

Kurs, O. (1996) Institutions of geography in Estonia. *Geografiska Annaler. Series B*. 78. 3. P. 173-179 [in English].

Příbyl, V. (2006) Fyzická geografie na Univerzitě Karlově v Praze [Physical Geography at Charles University in Prague]. *Geografie-Sbornik CGS [Geography-Journal of KGS]*. 111. 4. P. 368-381 [in Czech].

Warkentin, J. (2008) 'Partially provided': Geography at the University of Toronto, 1844-1935. *Canadian Geographer*. 52. 3. P. 380-400 [in English].

Younsi, O. (2015) Histoire vécue, histoire transmise: regards de psychiatres sur l'évolution du Département de psychiatrie de l'Université de Montréal [Lived history, transmitted history: psychiatrists' views on the evolution of the Department of Psychiatry at the University of Montreal]. *Santé mentale au Québec [Mental health in Quebec]*. 40. 2. P. 107-119 [in French].

Отримано: 4 жовтня 2022  
Прийнято: 6 листопада 2022



## ХІМІЯ

УДК 547.922.5 + 532.783

DOI 10.35433/naturaljournal.2.2023.144-154

### СИНТЕЗ ПОТЕНЦІЙНИХ РІДКИХ КРИСТАЛІВ З ХОЛЕСТЕРИЛОВИМ ФРАГМЕНТОМ ЗА РЕАКЦІЄЮ ВІТТІГА

В. В. Листван<sup>1</sup>, А. В. Жмурчук<sup>2</sup>, В. М. Листван<sup>3</sup>

*Рідкі кристали – речовини, що завдяки особливостям їх будови і фізичних властивостей не лише цікаві як об'єкти для теоретичного дослідження, але і надзвичайно важливі практично з огляду на можливість їх ефективного застосування у різних галузях виробничої діяльності, медицині, побуті тощо. Серед відомих класів рідких кристалів важливу групу становлять речовини, відомі як холестерерики.*

*Холестеричним рідким кристалам притаманна дуже висока оптична активність, що значно перевищує оптичну активність більшості інших відомих класів органічних сполук.*

*Практично важливою є також їхня здатність до значної зміни забарвлення при зміні температури і складу середовища.*

*Серед усіх сполук, що належать до класу холестериків, важливе місце посідають похідні, і зокрема естери холестеролу. Тому пошуки нових методів їх синтезу і введення у молекулу нових функціональних груп є безумовно актуальним завданням.*

*Дана робота присвячена вивченню можливості синтезу нових похідних холестеролу, а саме холестерилових естерів ненасичених кислот за реакцією Віттіга – взаємодією різних класів альдегідів із фосфонієвими солями, з проміжним утворенням ілідів фосфору –*

*алкіліденфосфоранів. Ми з'ясували, що реакція Віттіга є зручним методом синтезу холестерилових естерів ненасичених карбонових кислот. Нами розроблено методи синтезу потенційних рідких кристалів з холестериловим фрагментом за реакцією Віттіга, в яких використовується фосфонієва сіль, що містить залишок холестеролу, а також відповідні альдегіди. Процес відбувається без виділення проміжної сполуки – алкіліденфосфорану, що знижує працємісткість методу.*

*Використання різних альдегідів дає змогу легко отримувати холестерилові естери ненасичених кислот, що містять у кислотному залишку різні аліфатичні, ароматичні та гетероциклічні фрагменти. Реакція протікає у м'яких умовах, без застосування високих температур чи агресивних середовищ. Отримані естери виявляють ознаки утворення мезофази, що є підтвердженням їх рідкокристалічних властивостей.*

<sup>1</sup> кандидат хімічних наук,  
доцент кафедри хімії  
(Житомирський державний університет імені Івана Франка)  
e-mail: listvan@ukr.net  
ORCID: 0000-0002-8366-2813

<sup>2</sup> студентка природничого факультету  
(магістратура)  
(Житомирський державний університет імені Івана Франка)

<sup>3</sup> кандидат хімічних наук,  
доцент кафедри хімії  
(Житомирський державний університет імені Івана Франка)  
e-mail: lystvan.vl@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-5833-2871

**Ключові слова:** рідкий кристал, холестерол, мезофаза, реакція Віттіга, фосфонієва сіль, алкіліденфосфоран.

## **SYNTHESIS OF POTENTIAL LIQUID CRYSTALS WITH CHOLESTEROL FRAGMENT BY WITTIG REACTION**

**V. V. Lystvan, A. V. Zhmurchuk, V. M. Lystvan**

*Liquid crystals are substances that owing to the features of their structure and physical properties are of interest not only as objects for theoretical research, but also significantly important practically due to the possibilities of their effective application in various branches of industry, medicine, in household etc. Among the known classes of liquid crystals, substances known as cholesterics are an important group.*

*Cholesteric liquid crystals demonstrate very high optical activity, that significantly exceeds the optical activity of most other known classes of organic compounds. Their ability for appreciable change of color at change of the temperature and environment composition is also practically important.*

*Among all compounds belonging to the class of cholesterics an important place possess cholesterol derivatives, especially cholesterol esters. Therefore, the elaboration of new methods of their synthesis and the introduction of new functional groups into their molecules are an urgent tasks indeed.*

*This work is devoted to the investigation of the possibility of synthesis of new cholesterol derivatives, namely cholesteryl esters of unsaturated acids by the Wittig reaction - the interaction of various classes of aldehydes with phosphonium salts, with the intermediate formation of phosphorus ylides - alkylidene phosphoranes. We found that the Wittig reaction is a convenient method for the synthesis of cholesteryl esters of unsaturated carboxylic acids. We have developed methods for the synthesis of potential cholesteric liquid crystals by the Wittig reaction, which use a phosphonium salt containing a cholesterol fragment and corresponding aldehydes. The process proceed without the release of an intermediate compound – alkylidene phosphorane, which reduces the labor intensity of the method.*

*The application of various aldehydes enables the easily obtaining of cholesteryl esters of unsaturated acids containing various aliphatic, aromatic and heterocyclic fragments in the acid radical. The reaction takes place in mild conditions, without using of high temperatures or aggressive environments. The resulting esters show signs of mesophase formation, which is a confirmation of their liquid crystalline properties.*

**Key words:** liquid crystal, cholesterol, mesophase, Wittig reaction, phosphonium salt, alkylidene phosphorane.

### **Вступ**

Рідкокристалічний стан речовини з фізичної точки зору – самостійний фазовий стан, не лише цікавий у теоретично-пізнавальному аспекті, але і надзвичайно важливий практично з огляду на можливості їх ефективного застосування і в низці галузей виробничої діяльності, і в інших сферах – медицині, побуті тощо (Takashi, et al., 2018; Khoo, 2022).

Пристрої, у яких застосовуються рідкі кристали, стрімко впроваджуються в техніку відображення інформації. Почалось масове впровадження пристроїв, що містять рідкі кристали, в побут (Белиловский, 1987).

Серед нематичних рідких кристалів слід виділити підклас

речовин, названих холестерично-нематичними рідкими кристалами і який в літературі часто називають просто холестериками. Перші відкриті речовини цього типу належали до естерів холестеролу. Пізніше аналогічні властивості було виявлено у деяких інших оптично активних органічних речовин чи їх сумішей, а також сумішей оптично активних речовин з нематичними рідкими кристалами. В холестериках молекули упаковані в шари товщиною близько 200 Å. Холестеричні рідкі кристали відзначаються своєрідністю будови (Abell et al., 1982). Якщо в рідкокристалічній пробі холестерика вибрати мономолекулярний шар, то молекули в ньому будуть розміщуватися майже паралельно.

Наступний сусідній мономолекулярний шар "побудований" аналогічно. Різниця одна: при переході від шару до шару директор повертається на невеликий кут і тим самим описує спіраль. Така спіраль називається періодичною решіткою холестеролу (Stoddart, 1979). Холестеричні рідкі кристали складаються з хіральних молекул. Віддаль вздовж осі між двома шарами з однаковою орієнтацією директора називається кроком спіралі холестерика. Крок спіралі холестерика чутливий до зміни температури. Завдяки своїй періодичній структурі холестеричні рідкі кристали є природними дифракційними ґратками. Розсіяння світла на цих ґратках призводить до того, що плівки холестеричних рідких кристалів яскраво забарвлені, причому їхній колір залежить від температури (Barton & Ollis, 1979).

Холестеричним рідким кристалам притаманна дуже висока оптична активність, що на два-три порядки перевищує оптичну активність органічних рідин і твердих кристалів. Холестерині рідкі кристали здатні до обертання площини поляризації плоскополяризованого світла до  $18000^\circ$  на 1мм шляху (Zhang et al., 2021).

Широке застосування холестериків зумовлене також їх здатністю вибірково відбивати та поглинати світлове випромінювання з різною довжиною хвилі залежно від тих чи інших фізичних факторів. Холестеричні рідкі кристали різко змінюють забарвлення при зміні температури середовища на десятки частки градуса, а також при зміні складу середовища на частки відсотка.

Освітленні пучком поляризованого білого світла, холестеричні рідкі кристали мають райдужне забарвлення, що залежить від природи речовини, температури та кута падіння світла. Досягнувши поверхні рідкого кристала, світ диспергує на дві складові з круговою поляризацією в напрямках, зворотних повороту електричних векторів. Одна з

складових проникає в глибину кристала, в той час як інша відображається від його поверхні, що викликає появлення характерного забарвлення рідкокристалічного зразка (Фіалков та ін., 1983).

Наявність в рідких кристалах дальнього порядку в орієнтації молекул викликає анізотропію електричних і магнітних властивостей, притаманну твердим кристалам. Однак, на відміну від твердих тіл, сили міжмолекулярної взаємодії тут значно слабкіші. Енергія деформації рідких кристалів мала, тому їх молекулярну структуру легко змінити під дією електричного та магнітного полів невеликої потужності. Для зміни структури достатні також незначні температурні коливання або механічний вплив на рідкі кристали. Структурні зміни рідких кристалів супроводжує зміна їх оптичних властивостей, оскільки вторинними ефектами зміни орієнтації молекул є зміни ступеня пропускання та відображення світла, кругового дихроїзму, оптичної активності та забарвлення.

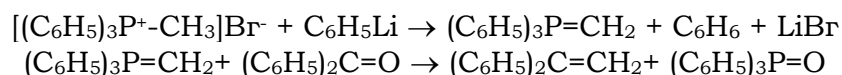
Здатність холестеричних рідких кристалів змінювати колір при зміні температури використовують у медицині для визначення ділянок тіла з підвищеною температурою, що дозволяє виявляти запальні процеси, і в техніці (для перетворення невидимого й інфрачервоного проміння від нагрітих тіл у видиме зображення) (Guo et al., 2023).

Дослідження рідких кристалів становить також великий інтерес для біології (Huang et al., 2021). По-перше, саме рідкі кристали поєднують впорядкованість, характерну для твердого тіла, з рухливістю, що є властивістю рідин. Ці дві протилежні властивості характерні і для живої матерії в усіх її проявах. Саме це дає змогу застосувати теорію, добре розроблену для рідких кристалів, до таких складних біологічних явищ, як скорочення м'язів, передача нервових імпульсів, фотосинтез, функціонування клітинних мембран і т. д. (Scarangella

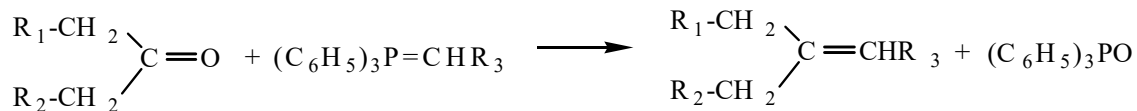
et al., 2020). Окрім того, іншою особливістю рідких кристалів є схильність їх молекул до самоорганізації, тобто утворення упорядкованих структур (Khadem & Rey, 2019). Ця особливість також не пройшла поза увагою біологів, що роблять спроби застосувати відповідні уявлення для пояснення процесів саморепродукції молекул в клітині, проблем еволюції тощо.

Усі перелічені особливості даного класу сполук роблять одержання і вивчення нових похідних холестеролу, що можуть мати цінні рідкокристалічні властивості, безумовно перспективним напрямом досліджень.

### Матеріал і методи



В наступні роки це відкриття призвело до розвитку нового методу синтезу алкенів, який під назвою реакції Віттіга незабаром набув важливого значення в препаративній органічній хімії (Луценко, 1967).



Інша перевага реакції Віттіга полягає в тому, що вона відбувається в лужному середовищі і зазвичай у дуже м'яких умовах. Тому ця реакція є єдиним методом, що підходить для отримання реакційноздатних алкенів типу каротиноїдів, метиленових стероїдів та інших природних продуктів (Freidzon et al., 1982).

За роки, що минули з того часу коли була відкрита реакція Віттіга, за цим методом було синтезовано велику кількість алкенів. Реакція ця не обмежена одержанням лише простих алкіл- або ариламинованих похідних етилену, але застосована також для синтезу  $\alpha,\beta$ -ненасичених карбонових кислот та естерів карбонових кислот, а також вінілгалогенідів і простих

Дана робота присвячена вивченню можливості синтезу нових похідних холестеролу, а саме холестерилмових естерів ненасичених кислот за реакцією Віттіга – взаємодією різних класів альдегідів із фосфонієвими солями, з проміжним утворенням ілідів фосфору – алкіліденфосфоранів.

Віттіг і Гайсслер у 1953 р. встановили, що при взаємодії бензофенону з етилентрифенілфосфораном утворюються майже з кількісним виходом 1,1-дифенілетилен і оксид трифенілфосфіну: фосфоран одержали із бромиду трифенілметилфосфонію і фелілітію.

Однією з переваг цього нового методу полягає в тому, що заміна карбонільної групи подвійним зв'язком  $C=C$  відбувається специфічно без утворення ізомерних алкенів.

вінілових етерів. Велике число природних сполук, одержаних за реакцією Віттіга, говорить про те, якого важливого значення за короткий час набув цей метод синтезу органічних сполук. Також реакція Віттіга має особливу цінність для введення екзоциклічних подвійних зв'язків.

Цікавим прикладом застосування реакції Віттіга є її використання для синтезу гетероциклічних похідних холестеролу. Для цього використана холестерилвмісна фосфонієва сіль, яка при дії основ відщеплює  $HCl$  і перетворюється на відповідний фосфоран. Останній легко реагує з альдегідами, утворюючи холестерилмовий естер заміщеної

коричної кислоти (I), що містить в молекулі одночасно фрагмент ніотинової кислоти і холестеролу (Пикин і Блинов, 1982).

Деякі естери ненасичених кислот (навіть простішої будови) вже дістали практичне застосування. Видовження молекули, що відбулось при синтезі речовини (I), повинно позитивно вплинути на властивості рідкого кристалу. При кімнатній температурі сполука (I) перебуває в кристалічному стані, характер її плавлення до певної міри підтверджує рідкокристалічні властивості (речовина розм'якшується при 155°C, що може бути ознакою переходу в мезофазу) (Sykes, 1996; Титов та ін., 1998).

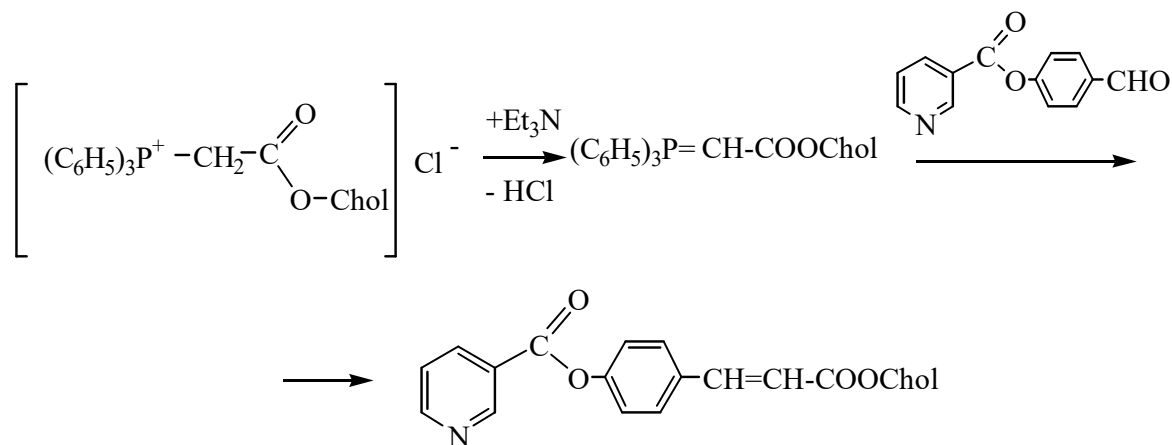
### Результати та обговорення

Головним напрямом нашої роботи було застосування реакції Віттіга для синтезу нових похідних холестеролу, які можуть мати цінні рідкокристалічні властивості. Деякі з отриманих нами холестериллових естерів ненасичених кислот уже відомі (холестерилловий

естер коричної кислоти та паранітрокоричної кислоти) та містяться в каталогах хімічних реактивів; у цьому випадку новизну становить метод їх синтезу. Інші отримані речовини є повністю новими, не описаними раніше у фаховій літературі.

В ході досліджень нами була синтезована, зокрема, фосфонієва сіль, що містить залишок холестеролу, і було показано, що ця сіль може бути використана для одержання холестериллових естерів ненасичених кислот. Нами розроблено методи синтезу потенційних рідких кристалів з холестерилловим фрагментом за реакцією Віттіга, в яких використовується фосфонієва сіль, що містить залишок холестеролу, а також відповідні альдегіди.

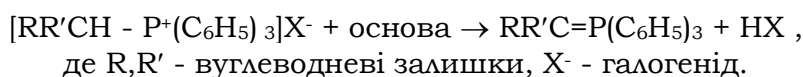
Холестерилловмісна фосфонієва сіль (вихідна сполука) утворюється в результаті взаємодії трифенілфосфіну з холестерилловим естером хлороцтової кислоти.



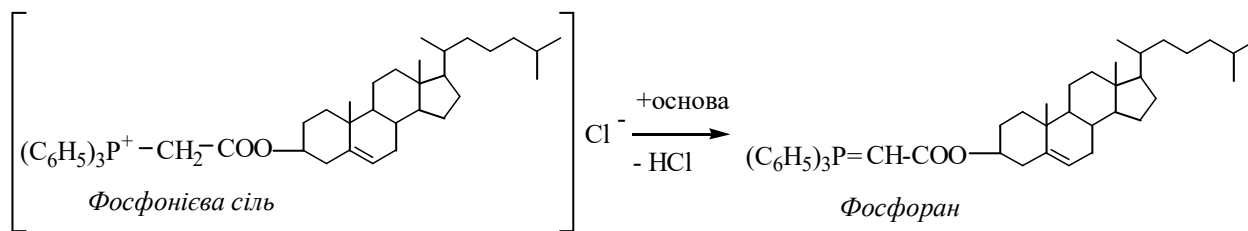
де Chol – залишок холестеролу

Дану реакцію проводять при нагріванні в бензені протягом 10 годин. При дії основ на фосфонієві солі відбувається відщеплення гідрогенгалогеніду від фосфонієвої

солі, в результаті чого вони перетворюються в іліди фосфору (алкіліденфосфорани) – сполуки з подвійним зв'язком P=C (Hudson, 1965).

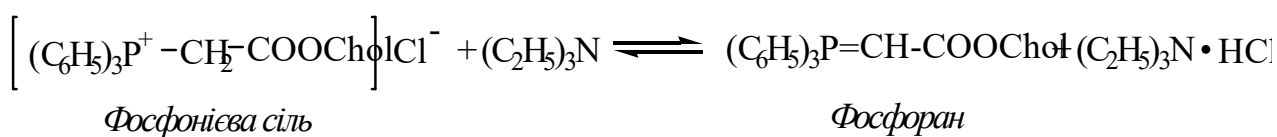


В нашому випадку з фосфонієвої фосфоран з холестерилловим солі таким методом одержується фосфоран з холестерилловим фрагментом:



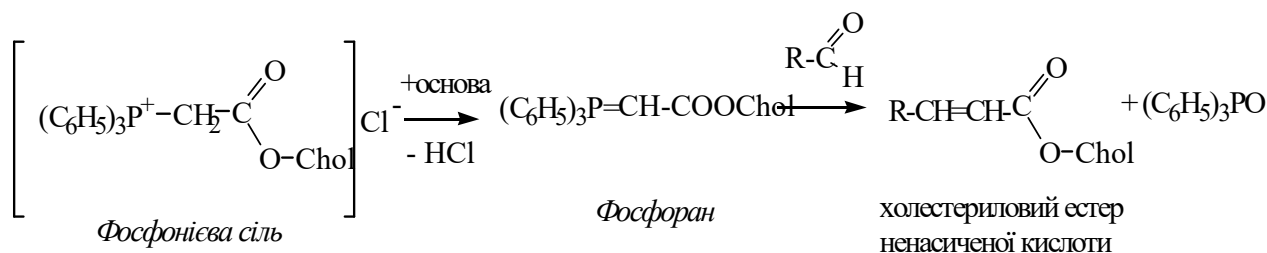
Виділення алкіденфосфоранів в індивідуальному стані для їх подальшої реакції з альдегідами не завжди можливе і бажане, оскільки деякі представники цього класу сполук у

звичайних умовах є недостатньо стійкими. Нами було використано той факт, що фосфоран утворюється з фосфонієвої солі при дії триетиламіну за оборотною реакцією:



Це дало змогу використовувати для реакції фосфонієву сіль з додаванням до неї альдегіду і триетиламіну. Фосфоран, що

утворюється з фосфонієвої солі при дії триетиламіну вступає в реакцію з альдегідом, утворюючи ненасичений естер та трифенілфосфін оксид.



де R - вуглеводневий залишок відповідного альдегіду.

Реакція Віттіга проходить в м'яких умовах при кімнатній температурі, нагрівання необхідне лише в умовах малорозчинних альдегідів. Зручними розчинниками для проведення реакції є нижчі спирти (етанол, 2-пропанол), в яких легко розчиняється вихідна фосфонієва сіль, а продукти випадають в осад.

Нами проведено реакції фосфонієвої солі із аліфатичними альдегідами (арабіноза, ізомасляний альдегід, пентаналь, пропаналь, хлоральгідрат, цитраль), ароматичними альдегідами (α-бромкоричний альдегід, ванілін, 3,4-диметоксибензальдегід, p-хлорбензальдегід) та гетероциклічними

альдегідами (фурфураль, бромфурфураль, 2-тіофенальдегід).

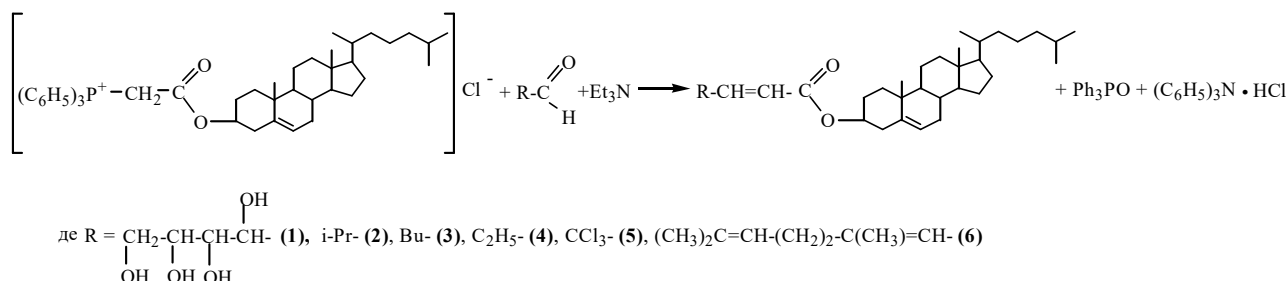
Одержані естери - кристалічні речовини різного забарвлення, деякі з них при плавленні поведуть себе як рідкі кристали утворюючи мезофазу (напіврозплавлена речовина змінює колір). Дані речовини під час плавлення у відповідному інтервалі температур забарвлюються мінливими кольорами, переважно червоним відтінком, а перед повним плавленням - синьо-зеленим. Це вважається ознакою рідкокристалічних властивостей, причому притаманну саме рідким кристалам холестеричного типу. Будову отриманих сполук



встановлювали методом ПМР-спектроскопії.

Аліфатичні альдегіди. Для синтезу потенційних рідких кристалів нами було використано такі аліфатичні

альдегіди: арабіноза (естер **1**), ізомасляний альдегід (**2**), пентаналь (**3**), пропаналь (**4**), хлоральгідрат (**5**), цитраль (**6**).



Для синтезу холестерил-4,5,6,7-тетрагідроксо-2-гептеноату (**1**) ми використали фосфонієву сіль із залишком холестерину та арабінозу, а також триетиламін у ролі основи.

Низький вихід сполуки (**1**) може бути зумовлений низьким вмістом лінійної (альдегідної) таутомерної форми.

Взаємодією цієї ж холестерилвмісної фосфонієвої солі та ізомасляного альдегіду було отримано холестерил-4-метил-2-пентеноат (**2**).

Аналогічним чином на основі пропаналу, пентаналу та хлоральгідрату було отримано відповідно отримали холестерил-2-пентеноат (**4**) та холестерил-2-гептеноат (**3**).

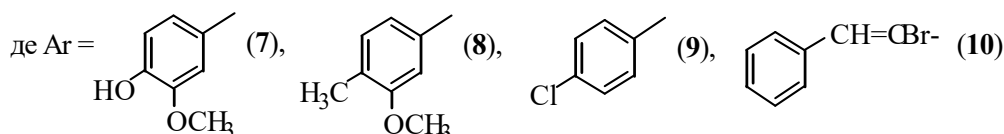
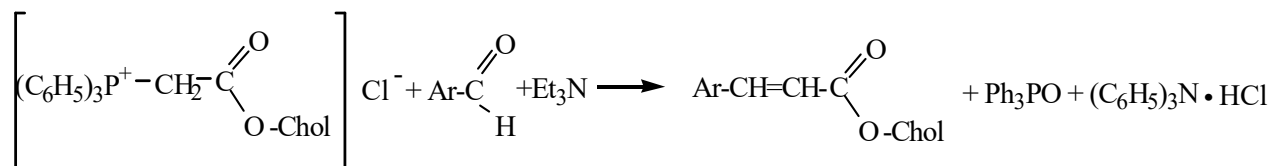
Отримати холестерил-4,4,4-трихлор-2-бутеноат (**5**) на основі хлоральгідрату не вдалось, імовірно, через малий відсотковий вміст альдегідної групи в останньому. В результаті реакція Віттіга йде надто повільно і тим часом може відбутись побічна реакція - гідроліз фосфорна.

Застосування природного альдегіду - цитралю дало змогу

отримати холестерилівий естер 5,9-диметил-2,4,8-декатрисенової кислоти у вигляді оліїстої рідини, що не кристалізувався.

Сполука (**6**) містить у своєму складі фрагмент природного альдегіду цитралю, три подвійні зв'язки у фрагменті кислоти і залишок холестеролу. Таке поєднання становить інтерес з огляду на можливу фізіологічну активність даної структури.

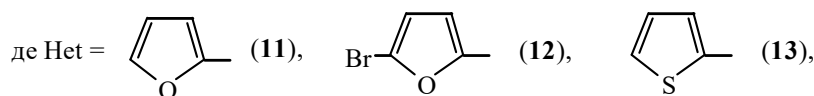
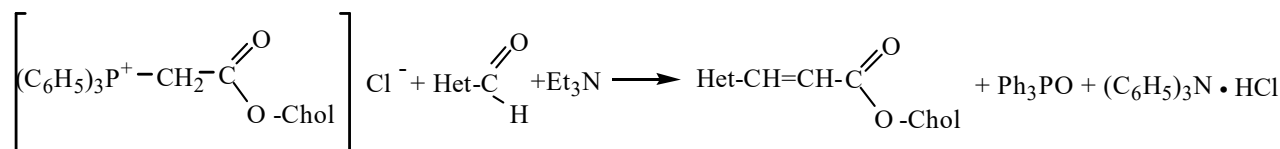
Ароматичні альдегіди. Для синтезу потенційних рідких кристалів з холестерилівим фрагментом за реакцією Віттіга нами було використано також ароматичні альдегіди, зокрема ванілін (**7**), 3,4-диметоксибензальдегід (**8**), п-хлоробензальдегід (**9**) та аліфатично-ароматичний α-бромокоричний альдегід (**10**). Взаємодія ароматичних альдегідів з алкіліденфосфоранами призводить до утворення холестерилівих естерів заміщених коричних кислот. Реакцію проводили в етанолі, як основу використовували триетиламін:



#### Гетероциклічні альдегиди.

Взаємодія з холестерилвмісною фосфонієвою сіллю гетероциклічних альдегідів, таких як фурфураль (естер **11**), 5-бромфурфураль (**12**), 2-

тіофенкарбальдегід (**13**), призводить до утворення холестерилових естерів гетероциклічних аналогів коричної кислоти. Схема реакції наведена нижче:



Усі одержані естери – кристалічні речовини різного забарвлення. Характер їх плавлення вказує на утворення мезофази. Дані речовини під час плавлення у відповідному інтервалі температур забарвлюються мінливими кольорами, переважно з червоним відтінком, а перед повним плавленням – синьо-зеленим. Це вважається ознакою рідкокристалічних властивостей, причому саме рідких кристалів холестеричного типу. Будова отриманих сполук підтверджена даними ПМР-спектроскопії.

#### Експериментальна частина

Синтез холестерилових естерів ненасичених кислот вимагав попереднього одержання відповідної холестерилвмісної фосфонієвої солі.

(Холестериліоксикарбонілметил)трифенілфосфоній хлорид. У 250 мл колбі розчинили 23,2 г (0,05 моль) холестерилового естеру хлороцтової кислоти та 13,1 г трифенілфосфіну в 1-пропанолі об'ємом 150 мл. Розчин

кип'ятили протягом 10 годин. Між першою та другою годинами нагрівання спостерігали утворення жовтого осаду та помаранчевої рідини, яка з часом змінила своє забарвлення, а осад розчинився.

Після кип'ятіння розчин охолодили, осад відфільтрували і висушили. Отримали 7,35 г продукту.

Холестерил - (4 - метил - 2-пентеноат) (**2**). 1,9 г (0,0025 моль) холестерилвмісної фосфонієвої солі розчинили в етанолі (12 мл) та додали 0,5 мл ізомасляного альдегіду. Після повного розчинення вихідних речовин додали триетиламін об'ємом 0,7-0,8 мл. Через 5 хвилин спостерігали випадання осаду. Реакційну суміш відстоювали протягом доби.

Одержаний осад відфільтрували, промили етанолом і висушили. Вихід 35,15%, температура плавлення 108-110 °С. При плавленні речовина змінює колір, що може свідчити про утворення мезофази.

*Холестерил-2-гептеноат (3)*. 1,5 г (0,002 моль) фосфонієвої солі, що містить залишок холестеролу, розчинили в етанолі (10 мл) та додали 0,3 мл пентаналу (валеріановий альдегід). Після повного розчинення вихідних речовин в якості основи додаємо триетиламін об'ємом 0,6 мл. Через 1-2 хвилини спостерігаємо випадання осаду. Залишили суміш на одну добу, для повного осадження.

Через добу одержаний осад відфільтрували, промили етиловим спиртом, висушили на фільтрі. Речовину одержали у вигляді білих кристалів, вихід 36,36%, температура плавлення 107-109 °С.

*Холестерил-2-пентеноат (4)*. 1,5 г (0,002 моль) холестерилвмісної фосфонієвої солі розчинили в етанолі (10 мл), додали 0,3 мл пропаналу, після цього прилили триетиламін об'ємом 0,5 мл. Реакційну суміш залишили відстоюватись протягом 3-х діб, після чого випав осад, який відфільтрували, промили етиловим спиртом та висушили. Одержали речовину у вигляді білих кристалів, вихід 49,57%, температура плавлення 102-104 С.

*Холестерил-5,9-диметил-2,4,8-декатриеноат (6)*. Розчинили 1,9 г (0,0025 моль) фосфонієвої солі в етанолі (12 мл) та додали 0,85 мл цитралю, після чого додали триетиламін об'ємом 0,6 мл. Протягом 15-20 хвилин почалось утворення осаду. Для закінчення реакції суміш залишили на декілька годин. Утворився оліїстий осад. Фільтрат відділили, в одержаний осад налили 1-2 мл етанолу і промили одержану речовину. Отримали 1,8 г в'язкої маси, яку не вдалось кристалізувати шляхом очищення.

*Холестерил-(4-гідрокси-3-метоксифеніл)пропеноат (7)*. 2 г (0,0025 моль) холестерилвмісної фосфонієвої солі розчинили в етанолі (12 мл) та додали 0,5 г ваніліну. Після повного розчинення вихідних речовин додали 0,6 мл триетиламіну. Через 2-3 хвилини спостерігали утворення осаду. Через добу одержаний осад відфільтрували, промили етанолом, очищували

кристалізацією з гептану. Одержали жовту кристалічну речовину, вихід 28,57%,  $T_{пл}$  146-148 °С. Речовина у процесі плавлення виявляє ознаки утворення мезофази.

*Холестерил-(3,4-диметоксифеніл)пропеноат (8)*. 1,45 г (0,002 моль) фосфонієвої солі, що містить залишок холестерину, розчинили в етанолі (10 мл) та додали 0,35 г 3,4-диметоксибензальдегіду. Після повного розчинення вихідних речовин додали триетиламін об'ємом 0,5 мл. Через 2 хвилини спостерігали випадання осаду. Через добу одержаний осад відфільтрували та, промивши відповідним розчинником, висушили. Речовину перекристалізували з 2-пропанолу: Одержали холестеринний естер 3,4-диметоксикоричної кислоти у вигляді білих кристалів, вихід 42,77%, температура плавлення 128-130 °С.

*Холестерил-(4-хлорофеніл)пропеноат (9)*. Розчинили 1,5 г (0,0025 моль) холестерилвмісної фосфонієвої солі в 10 мл етанолу, додали 0,35 г п-хлорбензальдегіду, після чого додали триетиламін об'ємом 0,5 мл. Практично відразу утворився осад.

Одержаний осад відфільтрували, промили етанолом та перекристалізували з гептану. Вихід 30,5%,  $T_{пл}$  = 150-152 °С.

*Холестерил-5-феніл-4-бромо-2,4-пентадіеноат (10)*. Фосфонієву сіль масою 0,7 г (0,002 моль) розчинили в 10 мл етанолу і додали 0,16 г  $\alpha$ -бромокоричного альдегіду. Після повного розчинення вихідних речовин додали триетиламін об'ємом 0,2 мл. Відразу спостерігали утворення осаду. Після відстоювання реакційної суміші протягом доби одержаний осад відфільтрували, промили етанолом, висушили. Отриманий холестерилний естер  $\alpha$ -бромкоричної кислоти перекристалізували з гептану. Отримали безбарвну кристалічну речовину, вихід 32%, температура плавлення 172-174°С.

*Холестерил-3-(2-фурил)пропеноат (11)*. 1,5г (0,002 моль) фосфонієвої солі, що містить залишок холестеролу, розчинили в етанолі (10 мл) та додали

0,3 г фурфуралу. Після повного розчинення вихідних речовин в додали триетиламін об'ємом 0,5 мл. Одразу ж утворюється осад. Через добу одержаний осад відфільтрували, промили, висушили. Одержали холестерил-2-фурилпропеноат (VIII) у вигляді блідо-жовтих кристалів, вихід 55,34%, температура плавлення 118-120 °С. Характер плавлення вказує на утворення мезофази.

*Холестерил-3-[2-(5-бромфурил)]пропеноат (12).* Для синтезу холестерилового естеру (5-бромфурил)пропенової кислоти 1,5 г (0,002 моль) холестерилвмісної фосфонієвої солі розчинили в 10 мл етанолу та додали 0,3 г 5-бромфурфуралу, після повного

розчинення яких до реакційної суміші додавали 0,5 мл триетиламіну. Одразу ж спостерігали випадання осаду. Через добу одержаний осад відфільтрували, промили етанолом і висушили. Одержали речовину у вигляді білих кристалів, вихід 45,3%, температура плавлення 124-126 °С.

*Холестерил-3-(2-тієніл)пропеноат (13).* Розчинили 1,5 г (0,002 моль) фосфонієвої солі в етанолі (10 мл), додали 0,23 г 2-тіофенальдегіду, після чого долили триетиламін об'ємом 0,5 мл. Осад випав протягом 1 хвилини. Одержаний осад відфільтрували, промили етанолом, висушили. Речовину одержали у вигляді сріблясто - сірих кристалів, вихід 51,17 %, температура плавлення 132-134 °С (табл. 1).

Таблиця 1

Результати дослідження

№	Вихідний альдегід	Продукт реакції та його фізичний стан	Мг, г/моль	Вихід, %	Т.пл., °С
1	Арабіноза	---	---	---	---
2	Ізомасляний альдегід	Холестерил-(4-метил-2-пентеноат) (безбарвна кристалічна речовина)	480	35.15	108-110
3	Пентаналь	Холестерил-2-гептеноат (безбарвна кристалічна речовина)	495	36.36	107-109
4	Пропаналь	Холестерил-2-пентеноат (безбарвна кристалічна речовина)	470	49.57	102-104
5	Хлоральгідрат	---	---	---	---
6	Цитраль	Холестерил-5,9-диметил-2,4,8-декатрієноат (в'язка олійста маса)	560	38	---
7	Ванілін	Холестерил-(4-гідрокси-3-метоксифеніл)пропеноат (безбарвна кристалічна речовина)	562	28.57	100-102
8	3,4-диметоксибензальдегід	Холестерил-(3,4-диметоксифеніл)пропеноат (жовта кристалічна речовина)	526	42.77	112-114
9	4-хлоробензальдегід	Холестерил-(4-хлорофеніл)пропеноат (безбарвна кристалічна речовина)	550.5	30.5	126-128
10	α-бромокоричний альдегід	Холестерил-5-феніл-4-бromo-2,4-пентадієноат (безбарвна кристалічна речовина)	621	32	168-170
11	фурфураль	Холестерил-3-(2-фурил)пропеноат (жовтувата кристалічна речовина)	506	55.34	118-120
12	5-бромфурфураль	Холестерил-3-[2-(5-бромфурил)]пропеноат (безбарвна кристалічна речовина)	585	45.3	124-126
13	тіофенкарбальдегід	Холестерил-3-(2-тієніл)пропеноат (безбарвна кристалічна речовина)	522	51.17	132-134

### Висновки

Таким чином, в результаті проведеної роботи доведено можливість отримання потенційних рідких кристалів з холестерилловим фрагментом взаємодією холестерилловмісної фосфонієвої солі з аліфатичними, ароматичними та гетероциклічними альдегідами за реакцією Віттіга.

Визначено умови проведення реакції, що є досить м'якими – реакція відбувається при кімнатній температурі

або при незначному нагріванні. Опрацьовано відповідні методики.

Отримано низку нових похідних холестеролу – холестериллових сатурів ненасичених кислот, які під час плавлення в певному температурному інтервалі виявляють ознаки утворення мезофази, що свідчить про перспективність отримання нових речовин цього класу як потенційних рідких кристалів.

### Список використаних джерел:

Abell A.D., Doyle I.R., Massy-Weslropp R.A. The Wittig Reaction with Glutaric and Succinic Anhydrides. *Australian Journal of Chemistry*. 1982. V. 35. P.2277–2287. <https://doi.org/10.1071/CH9822277>.

Comprehensive organic chemistry. Edited by Sir D. Barton and W. D. Ollis. Pergamon, Oxford, England. 1979. 1227p. <https://doi.org/10.1002/jps.2600690651>.

Freidzon J.S., Kharitonov A.V., Shibaev V.P., Plate N.A. Liquid-Crystalline State of Cholesterol-Containing Monomers. *Mol.Cryst.Liq.Cryst.* 1982. V. 88, № 1/4. P. 87–97. <https://doi.org/10.1080/00268948208072588>.

Guo M. et al. Cellulose-derived cholesteric liquid crystal: Towards smart and sustainable colorimetric sensors. *Industrial Crops and Products*. 2023. V. 192. P.116007. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.116007>.

Huang R. et al. Remotely Controlling Drug Release by Light-Responsive Cholesteric Liquid Crystal Microcapsules Triggered by Molecular Motors. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2021. V. 49, I.13. P.59221–59230. <https://doi.org/10.1021/acsami.1c16367>.

Kato T., Uchida J., Ichikawa T. Functional liquid crystals towards the next generation of materials. *Angewandte Chemie International Edition*. 2018. V. 57, I.16. P.4355–4371. <https://doi.org/10.1002/anie.201711163>

Khadem S.A., Rey A.D. Theoretical platform for liquid-crystalline self-assembly of collagen-based biomaterials. *Frontiers in Physics*. 2019. V. 7. P.88–95. <https://doi.org/10.3389/fphy.2019.00088>

Khoo, I.-C. Liquid crystals. John Wiley & Sons, 2022. 416p.

Oxygen-Containing compounds. Edited by Stoddart J.F. Comprehensive organic chemistry. Pergamon, Oxford, England. 1979. <https://doi.org/10.1002/jps.2600690651>.

Scarangella A., Soldan V., Mitov M. Biomimetic design of iridescent insect cuticles with tailored, self-organized cholesteric patterns. *Nature communications*. 2020. V. 11. P.1–10. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17884-0>.

Sykes P. Guidebook to Mechanism in Organic Chemistry. 6<sup>th</sup> edition. Pearson Education, 1996. 428p.

Zhang W. et al. Temperature Responsive Photonic Devices Based on Cholesteric Liquid Crystals. *Advanced Photonics Research*. 2021. V.2, I.7. <https://doi.org/10.1002/adpr.202100016>.

Белиловский В.Д. Эти удивительные жидкие кристаллы. М.: Просвещение, 1987. С. 137 – 142.

Органические реакции. Под. ред. доктора хим. наук проф. И.Ф.Луценко. В 14-ти т. М.: Мир, 1967. Т.14. С.333–432.

Пикин С.А., Блинов Л.М. Жидкие кристаллы, библиотечка «Квант». М.: Наука, 1982. - С. 103 – 105.

Фиалков Ю.А., Залеская И.М., Ягупольский Л.М. *Журнал органической химии*. 1983. Т.19, Вып.7. С.2055–2061.

**References (translated & transliterated)**

- Abell, A.D., Doyle, I.R., Massy-Weslropp, R.A. (1982). The Wittig Reaction with Glutaric and Succinic Anhydrides. *Australian Journal of Chemistry*. 35, 2277–2287. <https://doi.org/10.1071/CH9822277>. [in English].
- Comprehensive organic chemistry. Edited by Sir D. Barton and W. D. Ollis. Pergamon, Oxford, England. (1979). <https://doi.org/10.1002/jps.2600690651>. [in English].
- Freidzon, J.S., Kharitonov, A.V., Shibaev, V.P., Plate, N.A. (1982). Liquid-Crystalline State of Cholesterol-Containing Monomers. *Mol.Cryst.Liq.Cryst.* 88 (1/4), 87–97. <https://doi.org/10.1080/00268948208072588>. [in English].
- Guo, M. et al. (2023). Cellulose-derived cholesteric liquid crystal: Towards smart and sustainable colorimetric sensors. *Industrial Crops and Products*. 192, 116007. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.116007>. [in English].
- Huang, R. et al. (2021). Remotely Controlling Drug Release by Light-Responsive Cholesteric Liquid Crystal Microcapsules Triggered by Molecular Motors. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 49 (13), 59221–59230. <https://doi.org/10.1021/acsami.1c16367>. [in English].
- Kato, T., Uchida, J., Ichikawa, T. (2018). Functional liquid crystals towards the next generation of materials. *Angewandte Chemie International Edition*. 57 (16), 4355–4371. <https://doi.org/10.1002/anie.201711163>. [in English].
- Khadem, S.A., Rey, A.D. (2019). Theoretical platform for liquid-crystalline self-assembly of collagen-based biomaterials. *Frontiers in Physics*. 7, 88–95. <https://doi.org/10.3389/fphy.2019.00088>. [in English].
- Khoo, I.-C. Liquid crystals. John Wiley & Sons. (2022). 416p. [in English].
- Oxygen-Containing compounds. Edited by Stoddart J.F. (1979). Comprehensive organic chemistry. Pergamon, Oxford, England. <https://doi.org/10.1002/jps.2600690651>. [in English].
- Scarangella, A., Soldan, V., Mitov, M. (2022). Biomimetic design of iridescent insect cuticles with tailored, self-organized cholesteric patterns. *Nature communications*. 11, 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17884-0>. [in English].
- Sykes, P. (1996). Guidebook to Mechanism in Organic Chemistry. 6<sup>th</sup> edition. Pearson Education, 428p. [in English].
- Zhang, W. et al. (2021). Temperature Responsive Photonic Devices Based on Cholesteric Liquid Crystals. *Advanced Photonics Research*. 2 (7). <https://doi.org/10.1002/adpr.202100016>. [in English].
- Bielilovskyi, V.D. (1987). Eti udivitelnyje zhydkije kristally. [This amazing liquid crystals.] M., 1987. P.137–142. [in Russian]
- Organichieskiye reakcii. [Organic reactions.] Edited by Dr.chem. Lutsenko I.F. (1967). M.: Mir, V.14. P.333 – 432. [in Russian]
- Pikin, S.A., Blinov, L.M. (1982). Zhydkije kristally. [Liquid crystals.] M.: Nauka. P.103–105. [in Russian]
- Fialkov, Ju.A., Zaleskaya, I.M., Yahupolskyi, L.M. (1983). Zhurnal organicheskoy khimii.[Journal of General Chemistry.] 19 (7). 2055–2061. [in Russian]

Отримано: 13 вересня 2022  
Прийнято: 17 листопада 2022



Ukrainian Journal of Natural Sciences  
Issue 2  
Український журнал природничих наук  
Випуск 2

ISSN: 2786-6335 print  
ISSN: 2786-6343 online

УДК 549.4: 535.3

DOI 10.35433/naturaljournal.2.2023.156-166

## НАНОДИСПЕРСНІ ЛЮМІНЕСЦЕНТНІ СТРУКТУРИ ДЛЯ ОПТОФАРМАКОЛОГІЇ ТА ФОТОДИНАМІЧНОЇ ТЕРАПІЇ: СИНТЕЗ І ВЛАСТИВОСТІ

А.П. Кусяк<sup>1</sup>

*Синтезовано нанокристалічний фторид лантану гексагональної сингонії та фтори лантану активований тербієм. Структурні характеристики синтезованих зразки досліджені методами XRD, TEM, FTIR, PCS. В середовищі фізіологічного розчину оцінено колоїдну стабільність суспензій та кислотно-основні характеристики поверхні. Заміщення іонів La на іони Tb в зразках LaF<sub>3</sub>:Tb не призводить до значного спотворення кристалічної структури, але суттєво впливає на розмірні характеристики, величину питомої поверхні, зарядні та кислотно-основні характеристики.*

*Отримані результати свідчать про перспективність подальших досліджень нанодисперсних люмінофорів на основі фториду лантану для використання в оптофармакології та фотодинамічній терапії пухлинних захворювань, локалізованих в органах черепа та кісткових тканинах. Крім того, результати досліджень можуть бути корисними для технічних застосувань, зокрема, при створенні люмінесцентних детекторів високоенергетичного електромагнітного випромінювання, розробках фото- та оптоелектронних приладів тощо.*

**Ключові слова:** лантану фторид, люмінофори, оптофармакологія, фотодинамічна терапія

## SYNTHESIS AND PROPERTIES OF NANODISPERSED LUMINESCENT STRUCTURES BASED ON LANTHANUM FLUORIDE FOR OPTOPHARMACOLOGY AND PHOTODYNAMIC THERAPY

A. P. Kusiak

*Nanocrystalline lanthanum fluoride of hexagonal syngonium and terbium-activated lanthanum fluoride were synthesized. The structural characteristics of the synthesized samples were investigated by XRD, TEM, FTIR, PCS methods. The colloidal stability of the suspensions and the acid-base characteristics of the surface were evaluated in the environment of physiological solution.*

*Substitution of La ions by Tb ions in LaF<sub>3</sub>:Tb samples does not lead to a significant distortion of the crystal structure, but it significantly affects the dimensional characteristics, specific surface area, charge and acid-base characteristics.*

<sup>1</sup> кандидат хімічних наук,  
старший науковий співробітник відділу наноматеріалів  
(Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйка НАН України)  
e-mail: a\_kusyak@ukr.net  
ORCID: 0000-0003-1005-5497



*The given data indicate the perspective of research of nanodispersed phosphors based on lanthanum fluoride for use in optopharmacology and photodynamic therapy of tumor diseases localized in the organs of the skull and bone tissues. In addition, research results can be useful for technical applications, in particular, in the creation of fluorescent detectors of high-energy electromagnetic radiation, development of photo- and optoelectronic devices, etc.*

**Keywords:** lanthanum fluoride, phosphors, optopharmacology, photodynamic therapy

### Вступ

Створення ефективних багатофункціональних лікарських засобів для адресної доставки та локальної терапії з пролонгованим вивільненням біоактивних складових є актуальною проблемою в багатьох галузях сучасної медицини (Roco et al., 2002; Gorobets' et al., 2018). Так, для онкології пріоритетного розвитку набула концепція хімічного конструювання магніточутливих нанокомпозитів (НК) типу ядро-оболонка (Abramov et al., 2018a, 2018b) з багаторівневою ієрархічною шаруватою наноархітектурою оболонки, здатних для виконання функцій медико-біологічних нанороботів (Gorbyk et al., 2016; Abramov et al., 2017): розпізнавання специфічних клітин, вірусів та біомакромолекул у біологічних середовищах; адресної доставки і депонування лікарських препаратів у клітинах- та органах-мішенях; комплексної локальної хіміо-, імуно-, нейтронзахоплювальної-, гіпертермічної-, фотодинамічної терапії (ФДТ) та магнітно-резонансної томографічної діагностики в режимі реального часу; детоксикації організму шляхом адсорбції решток деградації клітин, вірусних частинок, іонів важких металів, тощо та їх видалення за допомогою магнітного поля.

Оптимальним способом практичного застосування магніточутливих поліфункціональних НК у медицині може бути створення магнітних рідин на їх основі та фізіологічного розчину (Abramov et al., 2018a, 2018b). Зокрема, у складі магнітних рідин такі НК можуть бути використані для лікування пухлинних захворювань, локалізованих у органах

черепа, наприклад, методом ФДТ, модифікованим для роботи з фотосенсибілізаторами, збудження яких здійснюється високопроникним «м'яким» рентгенівським випромінюванням, безпечним для організму пацієнтів (Min-Hua et al., 2017). Зокрема, в останні роки зусилля дослідників у вказаній галузі спрямовані на впровадження методу ФДТ, за використання якого можна здійснити малоінвазивне лікування злоякісних пухлинних утворень, локалізованих як у м'яких тканинах, так і у кісткових структурах, при використанні рентгенолюмінесцентних біосумісних матеріалів та ефективних фотосенсибілізаторів (Liu et al., 2008; Hsiu-Wen et al., 2020).

Таким чином, перспективним підходом, що може забезпечити лікування, зокрема малоінвазивне, злоякісних пухлинних утворень, локалізованих у органах черепа, кісткових тканинах тощо, є створення новітньої оптофармакологічної бази для фотодинамічної терапії, заснованої на використанні магніточутливих носіїв для адресної доставки лікарських засобів (Mangaiyarkarasi et al., 2016; Zhang et al., 2011; DiMaio et al., 2008) вискоефективних біосумісних нанорозмірних люмінофорів, чутливих до біологічно-безпечного високопроникного «м'якого» рентгенівського випромінювання, та фотосенсибілізаторів із заданими спектральними характеристиками люмінесценції та поглинання, відповідно (Jing et al., 2015; Patro et al., 2014; Tang et al., 2015; Kasturi et al., 2018).

Виходячи з спрямованості роботи на синтез та вивчення властивостей нанодисперсних люмінофорів для

фотодинамічної терапії пухлинних захворювань органів черепа та кісткових тканин, перспективними для досліджень можуть бути рентгенолюмінесцентні нанорозмірні частинки (НЧ)  $\text{LaF}_3$ , активовані іонами рідкісноземельних елементів, отримані за технологією осадження з водних розчинів (Liu et al., 2008; Hsiu-Wen et al., 2020). Їх дослідження та оптимізацію технології синтезу наноструктур, порівняння результатів і встановлення властивостей люмінесценції, доцільно провадити з використанням ультрафіолетового (УФ) випромінювання, робота з яким є значно простішою, ніж з рентгеновським випромінюванням.

Тому за мету цієї роботи обрано синтез нанодисперсних люмінофорів на основі фториду лантану, активованих тербієм ( $\text{LaF}_3:\text{Tb}^{3+}$ ), перспективних для використання в фотодинамічній терапії та оптофармакології в якості джерела люмінесцентного випромінювання, вивчення їх структурних властивостей і спектрів люмінесценції при збудженні ультрафіолетовим (УФ) та рентгеновським випромінюванням.

### Матеріал і методи

Синтез нанодисперсних кристалів  $\text{LaF}_3$  та  $\text{LaF}_3:\text{Tb}^{3+}$  здійснено за методикою співосадження компонентів із спиртового (метанол) розчину. Як прекурсор використано:  $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{TbCl}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{F}$ . Всі використані реактиви кваліфікувались «хч». Як відомо,  $\text{LaF}_3$  не розчиняється у воді та може утворювати кристалогідрати складу  $\text{LaF}_3 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ .

Для синтезу  $\text{LaF}_3:\text{Tb}^{3+}$  взято: 18,4735 г  $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (42,664 ммоль), 5,708 г  $\text{TbCl}_3$  (10,769 ммоль), 4,773 г  $\text{NH}_4\text{F}$  (127,992 ммоль). Взятє завантаження реактивів забезпечувало склад синтезованих зразків, що відповідає формулі  $\text{La}_x\text{Tb}_{1-x}\text{F}_3$ ,  $x = 0,8$ .

З метою отримання зразків  $\text{LaF}_3:\text{Tb}^{3+}$  відпрацьовано такий варіант синтезу.

Солі  $\text{La}^{3+}$  та  $\text{Tb}^{3+}$  в мольних співвідношеннях 4:1 послідовно

розчиняли в мінімальному об'ємі метанолу. При постійному перемішуванні по краплях додавали розчин, у якому вміст іонів  $\text{F}^-$  у співвідношенні ( $\text{La},\text{Tb}$ ) :  $\text{F}$  як 1 : 3. Реакційний розчин перемішували при кімнатній температурі протягом 2 год. Продукт центрифугували, тричі промивали деіонізованою водою і сушили при кімнатній температурі.

Рентгенофазний аналіз одержаних зразків проводили на дифрактометрі ДРОН-УМ1 з використанням фокусування рентгеновських променів за Бреггом-Брентано, в кутовому інтервалі 10-80 град з кроком 0,05 град та експозицією у точці 1 с, випромінювання  $\text{Cu K}\alpha$ , Fe-фільтр, у відбитих променях. Ідентифікацію фаз проводили на основі бази даних PDF-2. Середній розмір кристалів визначали за шириною відповідної найбільш інтенсивної лінії згідно рівняння Шеррера.

Розподіли частинок за розмірами у водній суспензії були побудовані з використанням методів фотонної кореляційної спектроскопії (PCS) за допомогою аналізатора Nanophox (Symptec, Німеччина).

Питому площу поверхні та розподіл пор за розміром нанодисперсних зразків визначали методом низькотемпературної термодесорбції азоту за допомогою приладу NOVA 1200e (Quantachrome, США).  $S_{\text{ВЕТ}}$  – значення питомої площі поверхні, розрахованої за теорією полімолекулярної адсорбції Брунауера, Еммета і Теллера (БЕТ). Значення  $S_{\text{ВЕТ}}$  оцінювали за вимірюваннями ізотерм фізичної адсорбції-десорбції азоту при  $-196^\circ\text{C}$  в діапазоні відносних тисків  $P/P_0 = 0,05 - 0,20$ .

Дослідження інфрачервоних спектрів поглинання виконували за допомогою спектрометра Tensor 27 (Bruker Optik GmbH, Німеччина) з перетворенням Фур'є в діапазоні  $4000 - 400\text{ см}^{-1}$  з використанням гранул  $\text{KBr}$  (роздільна здатність  $2\text{ см}^{-1}$ ).

Визначення стабільності суспензій частинок та вимірювання значень рН ізоіонної точки ( $pH_{IP}$ ) і дзета-потенціалу виконували за допомогою приладу для лазерного доплерівського електрофорезу (LDE) (Nano Series, Malvern Instrument Ltd., UK), концентрація зразка становила 2 г/л в 0,15 моль/л NaCl (фізіологічний розчин, NSS). Значення потенціалу вимірювали тричі, розраховували середні значення та стандартні відхилення.

Дослідження кислотно-основних поверхневих характеристик та потенціометричні вимірювання суспензій  $LaF_3$  та  $LaF_3:Tb^{3+}$  виконували за допомогою приладу I-160M. Кислотно-основні властивості поверхні зразків досліджували методом рН-метрії окремих зразків, що дозволяє оцінити інтегральну кислотність поверхні при дослідженні зміни рН водної суспензії зразків (Kusyak et al., 2021).

За результатами розрахунків будували діаграму залежності концентрації активних центрів поверхні частинок від рН середовища. Результати трьох паралельних вимірювань обробляли методами математичної статистики, розрахункова похибка точності прямого вимірювання не перевищує 2,5%. Оцінка похибки результатів

вимірювань виконувалась з урахуванням значень точності вимірювальних приладів.

### Результати та обговорення

Відомо, що фторид лантану(III) утворює безбарвні кристали гексагональної сингонії, просторова група  $R\bar{3}c1$ , параметри елементарної комірки  $a = 0,7185$  нм,  $c = 0,7351$  нм,  $Z = 6$  (ICDD №78-1864). На *рис. 1* наведено дифрактограми синтезованих зразків  $LaF_3$  (крива *a*) і  $LaF_3:Tb$  (крива *b*). Попередні значення параметрів  $a$  гексагональної елементарної ґратки  $LaF_3$  визначали по лініях (300) і (302) з використанням квадратичної форми для гексагональної сингонії, що зв'язує міжплощинну відстань, індекси Міллера і параметри ґратки. Уточнені методом найменших квадратів значення параметрів наведені в *табл. 1*. Наводяться також величини об'єму елементарної ґратки в кристалічній структурі досліджуваних зразків. Видно, що ведення іонів Tb у процесі синтезу  $LaF_3$  приводить до зменшення параметрів ґратки гексагонального  $LaF_3:Tb^{3+}$ . Середній розмір кристалів  $LaF_3$  становив  $\sim 15$  нм, а  $LaF_3:Tb^{3+} \sim 14$  нм. З урахуванням розмірів іонів La і Tb, можна припускати можливість заміщення іонів La на іони Tb в зразках  $LaF_3:Tb^{3+}$ .

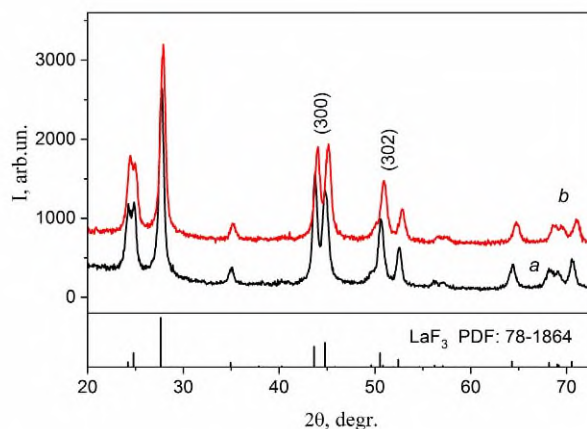


Рис. 1. XRD спектри НЧ  $LaF_3$  (а) та  $LaF_3:Tb^{3+}$  (б).

Таблиця 1.

Значення параметрів кристалічної ґратки фториду лантану

Зразок	$a$ , Å	$c$ , Å	Об'єм ґратки, Å <sup>3</sup>
LaF <sub>3</sub> ICDD № 78-1864	7.185	7.351	328.65
LaF <sub>3</sub>	7.186	7.353	328.8
LaF <sub>3</sub> :Tb <sup>3+</sup>	7.144	7.318	323.4

На рис. 2, 3 наведено ПЕМ-зображення синтезованих нанокристалів LaF<sub>3</sub> (рис. 2) та LaF<sub>3</sub>:Tb<sup>3+</sup> (рис. 3), а також їх розподіли за розмірами за даними ПЕМ (б) та лазерної кореляційної спектроскопії (в).

Характерно, що середній розмір наночастинок, виміряний незалежними методами, в ансамблі LaF<sub>3</sub>:Tb<sup>3+</sup> є меншим середнього розміру наночастинок в ансамблі LaF<sub>3</sub>. Ці дані корелюють з результатами визначення середнього розміру частинок за формулою Шерера.

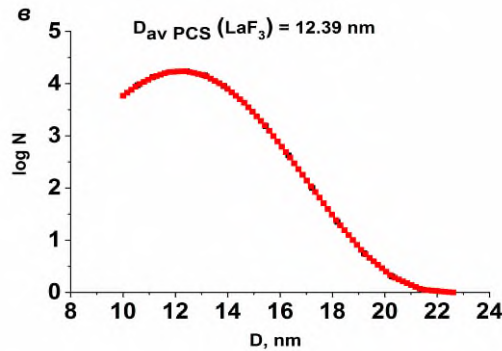
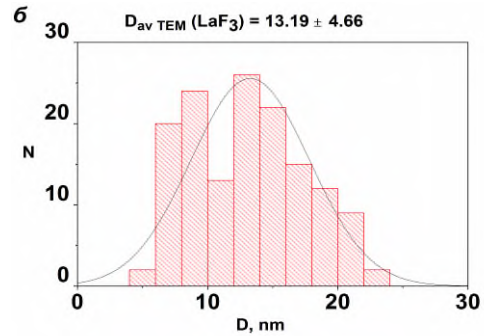
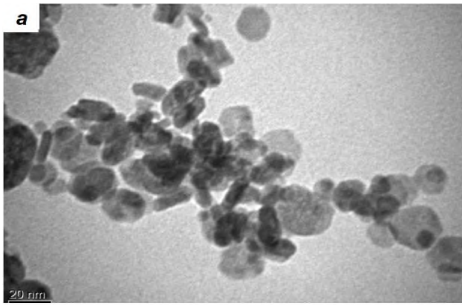


Рис. 2. ПЕМ-зображення НЧ LaF<sub>3</sub>: шкала 20 нм (а), їх розподіл за розмірами за даними ПЕМ (б) та лазерної кореляційної спектроскопії (в). Середній розмір частинок, нм: 13,19 ± 4,66 (б) та 12,39 (в) нм.

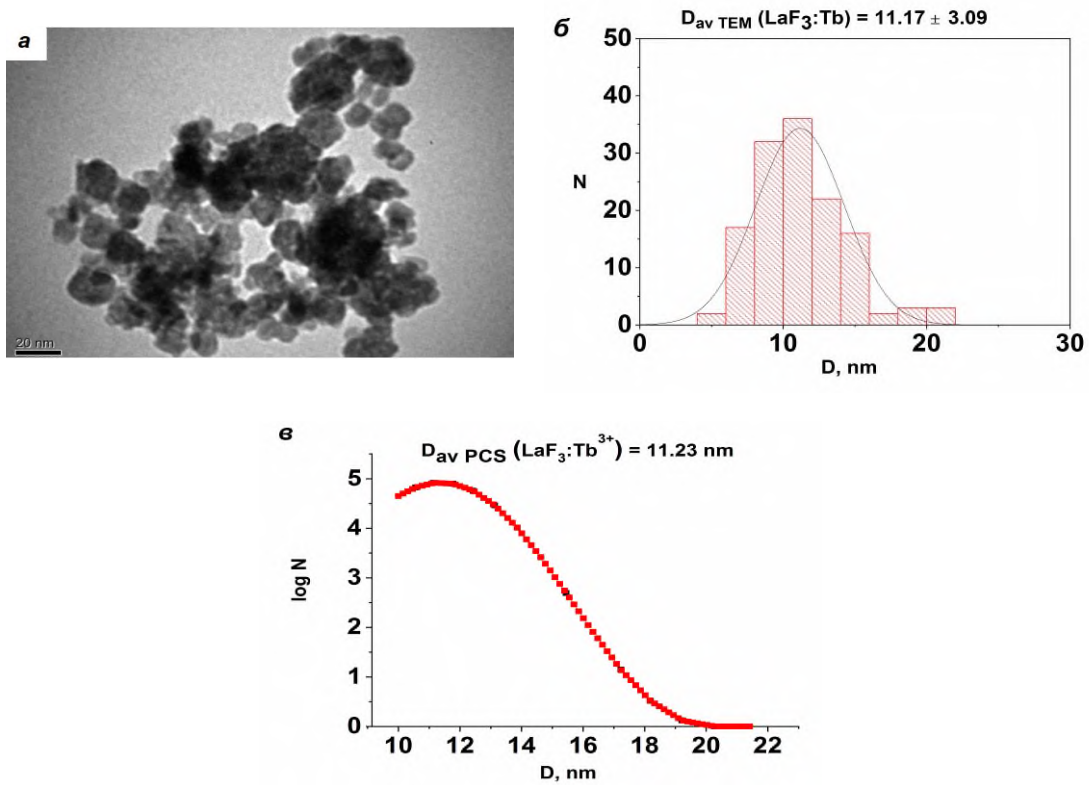


Рис. 3. ПЕМ-зображення НЧ  $\text{LaF}_3:\text{Tb}^{3+}$ : шкала 20 нм (а), їх розподіл за розмірами за даними ПЕМ (б) та лазерної кореляційної спектроскопії (в). Середній розмір частинок, нм:  $11,17 \pm 3,09$  нм (б) та 11,23 (в) нм.

На рис. 4 наведені низькотемпературні ізотерми адсорбції/десорбції азоту (1) і криві розподілу пор за розміром (2) нанодисперсних  $\text{LaF}_3$  (а) і  $\text{LaF}_3:\text{Tb}^{3+}$  (б),

відповідно. За даними досліджень спостерігаються замітні відмінності вказаних характеристик синтезованих зразків.

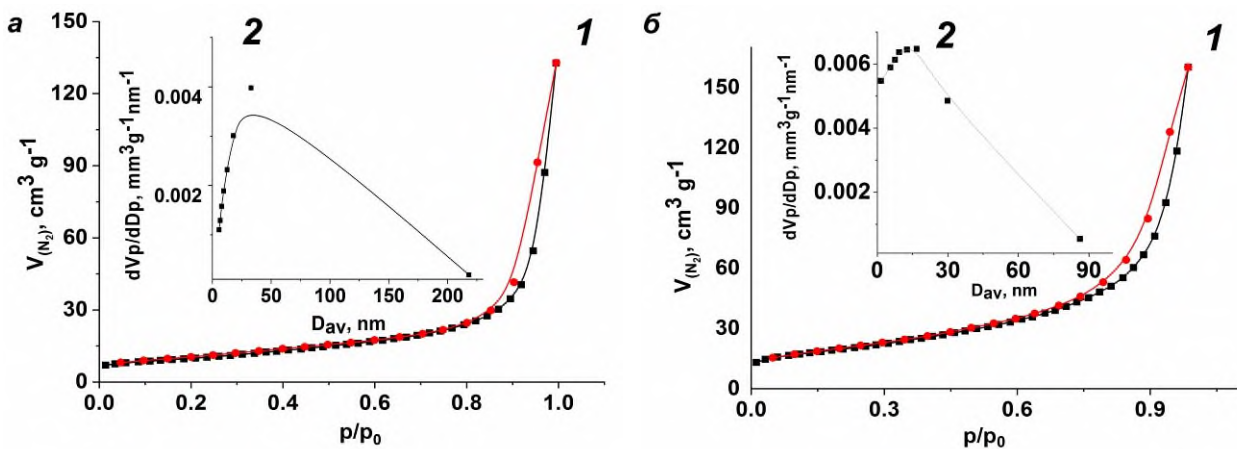


Рис. 4. Низькотемпературні ізотерми адсорбції / десорбції азоту (1) і криві розподілу пор за розміром (2) для зразків  $\text{LaF}_3$  (а), і  $\text{LaF}_3:\text{Tb}^{3+}$  (б).

Так, зразки  $\text{LaF}_3$  характеризуються площею поверхні BET  $34,73 \text{ м}^2/\text{г}$ , а  $\text{LaF}_3:\text{Tb}^{3+}$  –  $68,59 \text{ м}^2/\text{г}$ , при цьому збільшується загальний об'єм пор з  $0,205$  до  $0,248 \text{ см}^3/\text{г}$ , а середній розмір пор зменшується від  $32,88 \text{ нм}$  до  $16,75 \text{ нм}$ . Збільшення значень питомої поверхні зразків свідчить про зменшення середнього розміру частинок, а характер ізотерм та наявність петлі гістерезису – про

наявність пор, обумовлених, вірогідно, наявністю міжчастинкового простору.

В ІЧ-спектрах поглинання (рис. 5) спостерігаються смуги деформаційних коливань ( $3420$  та  $1630 \text{ см}^{-1}$ ) ОН-зв'язків молекул води (асиметричні (*vas*) і симетричні (*vs*), відповідно), що утворюють кристалогідрат з фторидом лантану, а також адсорбованих на поверхні частинок.

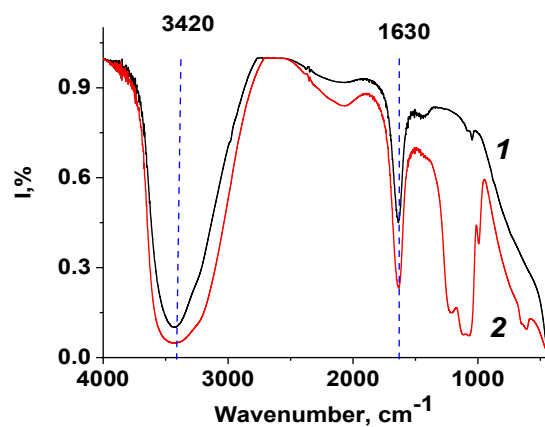


Рис. 5. ІЧ-спектри  $\text{LaF}_3$  (1),  $\text{LaF}_3:\text{Tb}^{3+}$  (2).

Результати вимірювань  $\zeta$ -потенціалів нанодисперсних зразків  $\text{LaF}_3$  і  $\text{LaF}_3:\text{Tb}^{3+}$  в середовищі NSS, як функції значень рН, представлені на рис. 6, а, б. Для колоїдних систем  $\text{LaF}_3$  (рис. 6, а) значення дзета-потенціалу в діапазоні  $40,32 \pm 3,32 - 30,87 \pm 4,56 \text{ мВ}$  вказують на достатню стабільність дисперсій в діапазоні рН  $\sim 2-6$ . Висока поверхнева щільність заряду і досить високе електростатичне відштовхування між наночастинками в колоїдних системах забезпечують їх стабільність. При рН  $\sim 7$  наночастинки

характеризуються нульовим зарядом, що відповідає їх ізоелектричній точці. При рН  $\sim 7-8$  стабільність втрачається, і наночастинки в колоїдних системах здатні до агрегації. Дослідженнями колоїдних систем  $\text{LaF}_3:\text{Tb}^{3+}$  в експериментальному діапазоні рН  $2-6$  (рис. 6, б) встановлено дещо нижчі значення дзета-потенціалу (від  $28,67 \pm 1,53$  до  $20,8 \pm 0,7 \text{ мВ}$ ), що пояснює їх нижчу стабільність у середовищі NSS. Крім того, слід зазначити зміщення їх ізоїонної точки до значення рН  $\sim 8,5$ .

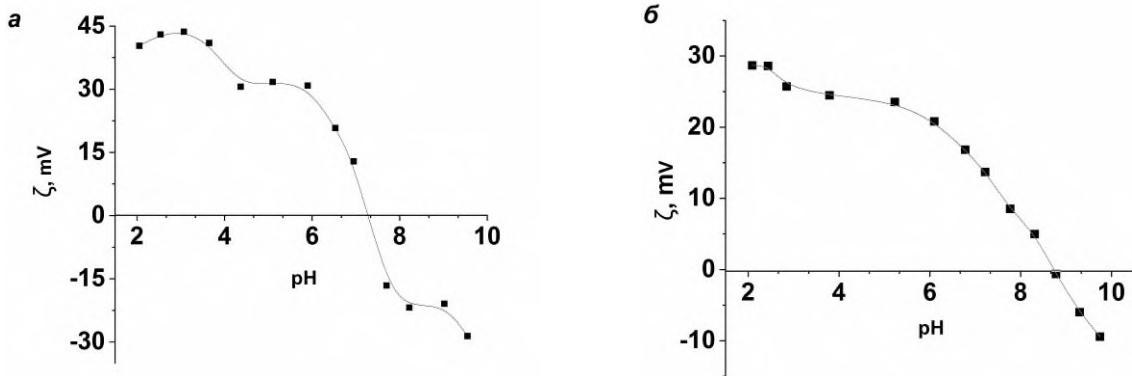


Рис. 6. Залежність ζ-потенціалів суспензій наночастинок LaF<sub>3</sub> (a) і LaF<sub>3</sub>:Tb<sup>3+</sup> (b) від рН в середовищі NSS.

Для середовища NSS були використані експериментально отримані значення  $[H^+]_0$  та  $[H^+]_{eq}$ , за якими розраховані зміни активності  $\Delta a_H$  і концентрації іонів гідрогену  $\Delta[H^+]$  та

знайдено концентрації протонуваних та депротонуваних активних центрів поверхні LaF<sub>3</sub> і LaF<sub>3</sub>:Tb<sup>3+</sup> при різних рН, а також значення сумарної концентрації активних центрів (наведено в табл. 2, 3).

Таблиця 2.

Залежність концентрації протонуваних  $-E_{(s)} \cdots H^+$  і депротонуваних  $-E_{(s)} \cdots OH^-$  активних центрів поверхні LaF<sub>3</sub> від рН.

pH	$[-E_{(s)} \cdots H^+] \cdot 10^{-3} \pm X \cdot 10^{-4} \text{ mol g}^{-1}$	pH	$[-E_{(s)} \cdots OH^-] \cdot 10^{-4} \pm X \cdot 10^{-7} \text{ mol g}^{-1}$
2.43	$87.50 \pm 43.01$	5.82	$3.805 \pm 183.92$
3.43	$12.05 \pm 4.05$	8.06	$1.285 \pm 47.35$
4.3	$3.31 \pm 1.41$	9.45	$0.578 \pm 25.31$
5.24	$0.027 \pm 0.023$	10.96	$0.0037 \pm 0.0031$
		11.96	$2.98 \cdot 10^{-7} \pm 1.32 \cdot 10^{-5}$
		12.78	$2.131 \cdot 10^{-8} \pm 8.44 \cdot 10^{-7}$
$\Sigma [-E_{(s)} \cdots H^+] \cdot 10^{-3} \pm X \cdot 10^{-4} \text{ mol g}^{-1}$		$\Sigma [-E_{(s)} \cdots OH^-] \cdot 10^{-4} \pm X \cdot 10^{-6} \text{ mol g}^{-1}$	
$102.9 \pm 12.128$		$5.66 \pm 4.27$	

Таблиця 3.

Залежність концентрації протонуваних  $-E_{(s)} \cdots H^+$  і депротонуваних  $-E_{(s)} \cdots OH^-$  активних центрів поверхні LaF<sub>3</sub>:Tb<sup>3+</sup> від рН.

pH	$[-E_{(s)} \cdots H^+] \cdot 10^{-3} \pm X \cdot 10^{-4} \text{ mol g}^{-1}$	pH	$[-E_{(s)} \cdots OH^-] \cdot 10^{-4} \pm X \cdot 10^{-6} \text{ mol g}^{-1}$
2.43	$58.21 \pm 22.6$	6.01	$2.71 \pm 27.66$
3.51	$9.5 \pm 3.11$	7.5	$1.79 \pm 6.19$
4.24	$3.35 \pm 5.36$	9.2	$2.14 \pm 45.61$
$\Sigma [-E_{(s)} \cdots H^+] \cdot 10^{-3} \pm X \cdot 10^{-4} \text{ mol g}^{-1}$		10.94	$0.043 \pm 0.45$
$71.07 \pm 0.01$		11.96	$1.37 \cdot 10^{-6} \pm 0.38$
		12.73	$1.40 \cdot 10^{-8} \pm 4.51 \cdot 10^{-5}$
$[-E_{(s)} \cdots OH^-] \cdot 10^{-5} \pm X \cdot 10^{-6} \text{ mol g}^{-1}$		$\Sigma [-E_{(s)} \cdots OH^-] \cdot 10^{-4} \pm X \cdot 10^{-6} \text{ mol g}^{-1}$	
5.41	$8.283 \pm 1.23$	$7.52 \pm 13.51$	



Також розраховано значення констант іонізації поверхневих центрів  $K_1$  та  $K_2$  та відповідні їм значення  $pK_1$

та  $pK_2$  активних центрів поверхні наноструктур  $LaF_3$  і  $LaF_3:Tb^{3+}$  для різних pH у середовищі NSS (табл. 4).  
Таблиця 4.

Значення  $pK$  активних центрів поверхні наноструктур  $LaF_3$  і  $LaF_3:Tb^{3+}$  в залежності від pH.

$[-E_{(s)} \cdots H^+]$				$-E_{(s)} \cdots OH^-$			
$pK_1$				$pK_2$			
pH	$LaF_3$	pH	$LaF_3:Tb$	pH	$LaF_3$	pH	$LaF_3:Tb$
2.43	0.44±0.05	2.43	0.38±0.01	5.82	9.7±0.41	6.01	9.85±0.12
3.43	0.63±0.05	3.51	0.76±0.006	8.06	10.79±0.56	7.5	10.33±0.23
4.3	1.21±0.12	4.24	1.23±0.08	9.45	11.49±0.38	9.2	10.19±0.15
5.24	-0.3±0.24			10.96	17.84±0.11	10.94	13.57±0.26
				11.96	23.37±0.15	11.96	22.31±0.17
				12.78	25.39±0.49	12.73	25.38±0.39

Розраховано частки негативно  $\alpha^-$ , позитивно заряджених  $\alpha^+$  та нейтральних  $\alpha^0$  активних центрів наноструктур  $LaF_3$  і  $LaF_3:Tb^{3+}$  в середовищі фізіологічного розчину в діапазоні pH 2,4 – 12,7 (рис. 7, а, б).

За результатами досліджень в діапазоні pH 2.4 – 5.3 для поверхонь  $LaF_3$  і  $LaF_3:Tb^{3+}$  домінуючими є нейтральні ( $\alpha^0$ ) центри (рис. 7, а, б). Частка  $\alpha^-$  сильних основних центрів, здатних до протонування, для яких  $pK = 0.44 - 1.23$  (табл. 4) у діапазоні pH 2.4 – 5.3 є дуже малою ( $87.5 \cdot 10^{-3} - 0.027 \cdot 10^{-3}$  моль  $g^{-1}$  для  $LaF_3$ ;  $58.21 \cdot 10^{-3} - 3.35 \cdot 10^{-3}$  моль  $g^{-1}$  для  $LaF_3:Tb^{3+}$  (табл. 2, 3). В діапазоні pH 6 – 9.5 домінуючими є здатні до депротонування ( $\alpha^+$ ) центри, що проявляють слабкі кислотні

властивості ( $pK 9.7 - 11.49$  (табл. 4), концентрація їх низька ( $3.8 - 0.57 \cdot 10^{-4}$  для  $LaF_3$ ,  $2.71 - 2.14 \cdot 10^{-4}$  моль  $g^{-1}$  для  $LaF_3:Tb^{3+}$  (табл. 2, 3). Таким чином, у діапазоні pH 2,4 – 12,7 виявлені активні центри поверхні можуть бути представлені як кислотні ( $La^{3+}$ ) та основні ( $F^-$ ) центри Льюїса, а також, як основні центри Бренстеда (ОН групи). Слід зазначити, що при значеннях pH вище 10, гідролітична активність поверхневих центрів сильно пригнічена. Отримані дані є корисними для оптимізації умов адсорбційної іммобілізації молекул фоточутливих речовин (сенсibilізаторів) на поверхні люмінофорів на основі фториду лантану.

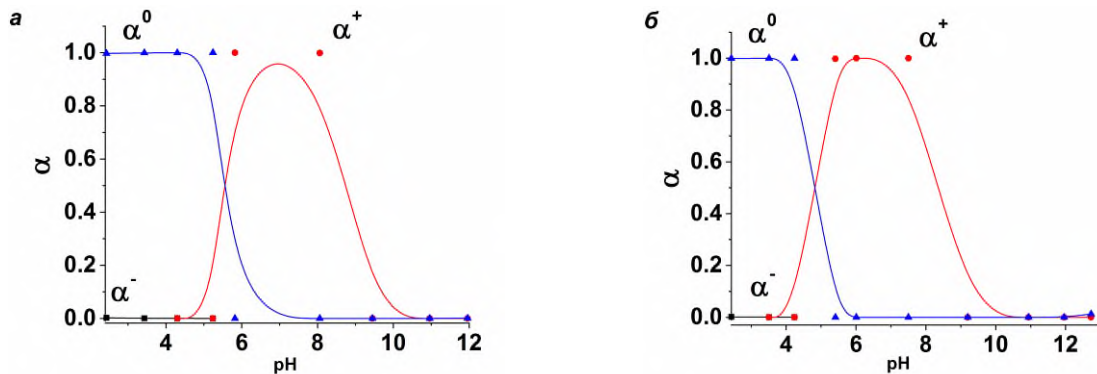


Рис. 7. Залежність частки нейтральних  $\alpha^0$ , негативно  $\alpha^-$  та позитивно  $\alpha^+$  заряджених поверхневих активних центрів наноструктур  $LaF_3$  (а) і  $LaF_3:Tb^{3+}$  (б) в залежності від pH.

**Висновки**

Синтезовано нанокристалічні фторид лантану гексагональної сингонії, активовані тербієм. Вивчено структурні властивості, хімічну активність поверхні.

Встановлено кислотно-основну природу поверхневих активних центрів НЧ  $\text{LaF}_3$  та  $\text{LaF}_3:\text{Tb}^{3+}$ . Розраховано частки негативно  $\alpha^-$ , позитивно  $\alpha^+$  заряджених та нейтральних  $\alpha^0$  активних центрів у діапазоні рН 2,4 – 12,7. Виявлені активні центри поверхні можуть бути представлені кислотними ( $\text{La}^{3+}$ ) та основними ( $\text{F}^-$ ) центрами Льюїса, а також основними центрами Бренстеда ( $\text{OH}^-$  групи). Отримані дані є корисними для оптимізації умов адсорбційної іммобілізації з

фізіологічного розчину молекул фоточутливих речовин (сенсibiliзаторів) на поверхні люмінофорів на основі фториду лантану.

Наведені дані свідчать про перспективність досліджень нанодисперсних люмінофорів на основі фториду лантану для використання в оптофармакології та фотодинамічній терапії. Крім того, результати досліджень можуть бути корисними для технічних застосувань, зокрема, при створенні люмінесцентних детекторів високоенергетичного електромагнітного випромінювання, розробках фото- та оптоелектронних приладів тощо.

**Список використаних джерел**

- Abramov M. V., Kussyak A. P., Kaminskiy O. M., Turanska S. P., Petranovska A. L., Kussyak N. V. and Gorbyk P. P. Magnetosensitive Nanocomposites Based on Cisplatin and Doxorubicin for Application in Oncology. *In Horizons in World Physics*. 2017. V.293. P.1-56.
- Abramov M. V.a, Turanska S. P., Gorbyk P. P. Magnetic properties of nanocomposites of a superparamagnetic core-shell type. *Metallofiz Noveishie Technol*. 2018. V. 40 (4). P.423-500. <https://doi.org/10.15407/mfint.40.04.0423>.
- Abramov M. V.b, Turanska S. P., Gorbyk P. P. Magnetic Properties of Fluids Based on Polyfunctional Nanocomposites of Superparamagnetic Core-Multilevel Shell Type. *Metallofiz Noveishie Technol*. 2018. V. 40 (10). P. 1283-1348. <https://doi.org/10.15407/mfint.40.10.1283>.
- DiMaio J., Kokuoz B., James T. L., Harkey T., Monofsky D., Ballato J. Photoluminescent characterization of atomic diffusion in core-shell nanoparticles. *Opt Exp*. 2008. V. 16 (16). P. 11769-11775. <https://doi.org/10.1364/OE.16.011769>.
- Gorbyk P. P., Lerman L. B., Petranovska A. L., Turanska S. P. and Pylypchuk I. V. Magnetosensitive Nanocomposites with Hierarchical Nanoarchitecture as Biomedical Nanorobots: Synthesis, Properties, and Application. In *Fabrication and Self-Assembly of Nanobiomaterials, Applications of Nanobiomaterials*. Elsevier. 2016. P. 289-334. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-41533-0.00010-6>.
- Gorobets' S. V., Gorobets' O. Y., Gorbyk P. P., Uvarova I. V. *Functional Bio- and Nanomaterials of Medical Destination*. Kyiv: Kondor. 2018.
- Hsiu-Wen C., Chien-Hao H., Chien-Hsin Y., Tzong-Liu W. Synthesis, optical properties, and sensing applications of  $\text{LaF}_3:\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}/\text{Ho}^{3+}/\text{Tm}^{3+}$  upconversion nanoparticles. *Nanomater*. 2020. V. 10 (12). P. 2477-2498. <https://doi.org/10.3390/nano10122477>.
- Jing K., Guo X., Diao X., Wu Q., Jiang Y., Sun Y., Zhu Y. Synthesis and characterization of dipicolinate sensitized  $\text{LaF}_3:\text{Tb}^{3+}$  nanoparticles and their interaction with bovine serum albumin. *J Lumin*. 2015. V.157. P.184-192. <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2014.08.061>.
- Kasturi S., Marikumar R., Vaidyanathan S. Trivalent rare-earth activated hexagonal lanthanum fluoride ( $\text{LaF}_3:\text{RE}^{3+}$ , where  $\text{RE}=\text{Tb}$ ,  $\text{Sm}$ ,  $\text{Dy}$  and  $\text{Tm}$ ) nanocrystals: Synthesis

and optical properties. *Luminescence*. 2018. V. 33 (5). P. 897-906. <https://doi.org/10.1002/bio.3488>.

Kusyak N. V., Kusyak A. P., Svyrydiuk K. P., Petranovska A. L., Gorbyk P. P. Evaluation of the acid-base surface properties of nanoscale Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> and Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub> by potentiometric method. *Mol Cryst Liq Cryst*. 2021. V. 719 (1). 140-152. <https://doi.org/10.1080/15421406.2021.1878744>.

Liu Y., Chen W., Wang S., Joly A. G., Westcott S. and Woo B. K. X-ray luminescence of LaF<sub>3</sub>:Tb<sup>3+</sup> and LaF<sub>3</sub>:Ce<sup>3+</sup>, Tb<sup>3+</sup> water-soluble nanoparticles. *J Appl Phys*. 2008. V. 103 (6). 063105. <https://doi.org/10.1063/1.2890148>.

Mangaiyarkarasi R., Chinnathambi S., Karthikeyan S., Aruna P., Ganesan S. Paclitaxel conjugated Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@LaF<sub>3</sub>:Ce<sup>3+</sup>,Tb<sup>3+</sup> nanoparticles as bifunctional targeting carriers for cancer theranostics application. *J Magn Magn Mater*. 2016. V. 399 (1). P. 207-215. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2015.09.084>.

Min-Hua C., Yi-Jhen J., Sheng-Kai W., Yo-Shen C., Nobutaka H., Feng-Huei L. Non-invasive photodynamic therapy in brain cancer by use of Tb<sup>3+</sup>-doped LaF<sub>3</sub> nanoparticles in combination with photosensitizer through X-ray irradiation: a proof-of-concept study. *Nanoscale Res Let*. 2017. 12. 62. <https://doi.org/10.1186/s11671-017-1840-3>.

Patro L. N., Kamala Bharathi K., Ravi Chandra Raju N. Microstructural and ionic transport studies of hydrothermally synthesized lanthanum fluoride nanoparticles. *AIP Adv*. 2014. V. 4. 127139. <https://doi.org/10.1063/1.4904949>.

Roco M. C., Williams R. S., Alivisatos P. Vision for Nanotechnology R&D in the Next Decade. Dordrecht: Kluwer Acad. Publ. 2002.

Tang Y., Hu J., Elmenoufy A. H., Yang X. Highly efficient FRET system capable of deep photodynamic therapy established on X-ray excited mesoporous LaF<sub>3</sub>:Tb scintillating nanoparticles. *ACS Appl Mater Int*. 2015. V. 7 (22). P. 12261-12269. <https://doi.org/10.1021/acsami.5b03067>.

Zhang F., Braun G. B., Pallaoro A., Zhang Y., Shi Y., Cui D., Moskovits M., Zhao D., Mesoporous multifunctional upconversion luminescent and magnetic “nanorattle” materials for targeted chemotherapy. *Nano Let*. 2012. V. 12 (1). P. 61-67. <https://doi.org/10.1021/nl202949y>.

### References (translated & transliterated)

Abramov, M. V., Kusyak, A. P., Kaminskiy, O. M., Turanska, S. P., Petranovska, A. L., Kusyak, N. V., Gorbyk, P. P. (2017). Magnetosensitive Nanocomposites Based on Cisplatin and Doxorubicin for Application in Oncology. *In Horizons in World Physics*, 293, 1-56 [in English].

Abramov, M. V.a, Turanska, S. P., Gorbyk, P. P. (2018). Magnetic properties of nanocomposites of a superparamagnetic core-shell type. *Metallofiz Noveishie Technol*, 40 (4), 423-500 <https://doi.org/10.15407/mfint.40.04.0423> [in Ukrainian].

Abramov, M. V.b, Turanska, S. P., Gorbyk, P. P. (2018). Magnetic Properties of Fluids Based on Polyfunctional Nanocomposites of Superparamagnetic Core-Multilevel Shell Type. *Metallofiz Noveishie Technol*, 40 (10), 1283-1348. <https://doi.org/10.15407/mfint.40.10.1283> [in Ukrainian].

DiMaio, J., Kokuoz, B., James, T. L., Harkey, T., Monofsky, D., Ballato, J. (2008). Photoluminescent characterization of atomic diffusion in core-shell nanoparticles. *Opt Exp*, 16 (16), 11769-11775. <https://doi.org/10.1364/OE.16.011769> [in English].

Gorbyk, P. P., Lerman, L. B., Petranovska, A. L., Turanska, S. P. and Pylypchuk, I. V. (2016). Magnetosensitive Nanocomposites with Hierarchical Nanoarchitecture as Biomedical Nanorobots: Synthesis, Properties, and Application. *In Fabrication and Self-Assembly of Nanobiomaterials, Applications of Nanobiomaterials*. Elsevier, 289-334. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-41533-0.00010-6> [in English].

Gorobets', S. V., Gorobets', O. Y., Gorbyk, P. P., Uvarova, I. V. (2018). Functional Bio- and Nanomaterials of Medical Destination. Kyiv: Kondor. [in Ukrainian].

Hsiu-Wen, C., Chien-Hao, H., Chien-Hsin, Y., Tzong-Liu, W. Synthesis, optical properties, and sensing applications of LaF<sub>3</sub>:Yb<sup>3+</sup>/Er<sup>3+</sup>/Ho<sup>3+</sup>/Tm<sup>3+</sup> upconversion nanoparticles. *Nanomater.* 2020. V. 10 (12). P. 2477-2498. <https://doi.org/10.3390/nano10122477>. [in English].

Jing, K., Guo, X., Diao, X., Wu, Q., Jiang, Y., Sun, Y., Zhu, Y. (2015). Synthesis and characterization of dipicolinate sensitized LaF<sub>3</sub>:Tb<sup>3+</sup> nanoparticles and their interaction with bovine serum albumin. *J Lumin.* 157, 184-192. <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2014.08.061> [in English].

Kasturi, S., Marikumar, R., Vaidyanathan, S. (2018). Trivalent rare-earth activated hexagonal lanthanum fluoride (LaF<sub>3</sub>:RE<sup>3+</sup>, where RE=Tb, Sm, Dy and Tm) nanocrystals: Synthesis and optical properties. *Luminescence*, 33 (5), 897-906. <https://doi.org/10.1002/bio.3488> [in English].

Kusyak, N. V., Kusyak, A. P., Svyrydiuk, K. P., Petranovska, A. L., Gorbyk, P. P. (2021). Evaluation of the acid-base surface properties of nanoscale Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> and Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub> by potentiometric method. *Mol Cryst Liq Cryst*, 719 (1), 140-152. <https://doi.org/10.1080/15421406.2021.1878744> [in English].

Liu, Y., Chen, W., Wang, S., Joly, A. G., Westcott, S. Woo, B. K. (2008). X-ray luminescence of LaF<sub>3</sub>:Tb<sup>3+</sup> and LaF<sub>3</sub>:Ce<sup>3+</sup>, Tb<sup>3+</sup> water-soluble nanoparticles. *J Appl Phys*, 103 (6), 063105. <https://doi.org/10.1063/1.2890148> [in English].

Mangaiyarkarasi, R., Chinnathambi, S., Karthikeyan, S., Aruna, P., Ganesan, S. (2016). Paclitaxel conjugated Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@LaF<sub>3</sub>:Ce<sup>3+</sup>,Tb<sup>3+</sup> nanoparticles as bifunctional targeting carriers for cancer theranostics application. *J Magn Magn Mater*, 399 (1), 207-215. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2015.09.084> [in English].

Min-Hua, C., Yi-Jhen, J., Sheng-Kai, W., Yo-Shen, C., Nobutaka, H., Feng-Huei, L. (2017). Non-invasive photodynamic therapy in brain cancer by use of Tb<sup>3+</sup>-doped LaF<sub>3</sub> nanoparticles in combination with photosensitizer through X-ray irradiation: a proof-of-concept study. *Nanoscale Res Let*, 12, 62. <https://doi.org/10.1186/s11671-017-1840-3> [in English].

Patro, L. N., Kamala Bharathi, K., Ravi Chandra Raju, N. (2014). Microstructural and ionic transport studies of hydrothermally synthesized lanthanum fluoride nanoparticles. *AIP Adv*, 4. 127139. <https://doi.org/10.1063/1.4904949> [in English].

Roco, M. C., Williams, R. S., Alivisatos, P. (2002). Vision for Nanotechnology R&D in the Next Decade. Dordrecht: Kluwer Acad. Publ. [in Ukrainian].

Tang, Y., Hu, J., Elmenoufy, A. H., Yang, X. (2015). Highly efficient FRET system capable of deep photodynamic therapy established on X-ray excited mesoporous LaF<sub>3</sub>:Tb scintillating nanoparticles. *ACS Appl Mater Int*, 7 (22), 12261-12269. <https://doi.org/10.1021/acsami.5b03067> [in English].

Zhang, F., Braun, G. B., Pallaoro, A., Zhang, Y., Shi, Y., Cui, D., Moskovits, M., Zhao, D. (2012). Mesoporous multifunctional upconversion luminescent and magnetic "nanorattle" materials for targeted chemotherapy. *Nano Let*, 12 (1), 61-67. <https://doi.org/10.1021/nl202949y> [in English].

Отримано: 24 жовтня 2022  
Прийнято: 8 листопада 2022



## АГРОНОМІЯ

УДК: 632.634.723

DOI 10.35433/naturaljournal.2.2023.167-173

### ФАКТОР ВІТРУ У ПРОСТОРОВО-ЧАСОВІЙ ДИНАМІЦІ ВІТРОВОЇ ЕРОЗІЇ У МЕЖАХ ВОЛИНСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Б. В. Матвійчук<sup>1</sup>, Н. Г. Матвійчук<sup>2</sup>

Висвітлено аналіз фактору вітру як чинника вітрової ерозії ґрунтів Полісся. Найбільша інтенсивність вітрової ерозії в зоні Полісся спостерігається у весняний і осінній періоди, коли щільність рослинний покриву є найменшою протягом року та відсутній сніговий покрив.

Часова динаміка вітрового режиму формує певні патерни, що обумовлює формування відповідних кластерів місяців року як показників часової регулярності вітрового режиму та кластерів адміністративних районів як показників просторової регулярності вітрового режиму. Ранньовесняний період є найменш тривалим (два місяці), що дозволяє його інтерпретувати як перехідний. Така інтерпретація пояснює включення до цього кластеру за динамічними особливостями серпня як також перехідного періоду від літнього режиму вітрів до осіннього. Надпотужним вітровим режимом характеризується зимовий період, найменша інтенсивність вітру спостерігається в літньо-осінній період. Перехідний ранньовесняний період характеризується проміжним рівнем вітрового навантаження, але найбільшою варіабельністю показників, що також підкреслює перехідний характер цього часового етапу в році. Встановлено, що максимальне значення фактору вітру для цих районів спостерігається взимку та становить  $3,57 \text{ м}^3 \text{ с}^{-3}$ , а мінімальне спостерігається у серпні та становить  $2,3 \text{ м}^3 \text{ с}^{-3}$ . Центральні та східні райони (Маневицький, Ковельський та Рожищенський) формують також однорідну підзону, особливість якої полягає у тому, що тривалість сильних вітрів у зимовий період децю менша порівняно з північно-західними районами. Найбільше вітрове навантаження спостерігається у зимові місяці, а найменше – у кінці літа. У географічному аспекті найбільшого вітрового навантаження зазнають північно-західні та південно-східні райони області. У часовому аспекті можна виділити три послідовних періоди: зимовий, ранньовесняний та літньо-осінній.

**Ключові слова:** фактор вітру, вітрова ерозія, деградація ґрунтів, динаміка вітру, патерн, кластерний аналіз.

<sup>1</sup> кандидат сільськогосподарських наук, доцент  
кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття  
(Житомирський державний університет імені Івана Франка)  
e-mail: bogdanmatviychuk@ukr.net  
ORCID: 0000-0002-7872-2420

<sup>2</sup> кандидат сільськогосподарських наук,  
старший викладач кафедри  
технологій у рослинництві,  
(Поліський національний університет, м. Житомир)  
e-mail: natamatviychuk400@ukr.net  
ORCID: 0000-0003-2226-814X

## WIND FACTOR IN SPATIAL AND TEMPORAL DYNAMICS OF WIND EROSION WITHIN VOLYN REGION

B. V. Matviychuk, N. G. Matviychuk

*The analysis of the wind factor as a factor of wind erosion of Polissia soils is highlighted. The highest intensity of wind erosion in the Polissya zone is observed in the spring and autumn periods, when the density of vegetation cover is the lowest during the year and there is no snow cover. The temporal dynamics of the wind regime forms certain patterns, which determines the formation of the corresponding clusters of months of the year as indicators of the temporal regularity of the wind regime and clusters of administrative districts as indicators of the spatial regularity of the wind regime. The early spring period is the least long (two months), which allows it to be interpreted as transitional. This interpretation explains the inclusion in this cluster by the dynamic features of August as also the transition period from the summer wind regime to the autumn one. The winter period is characterized by an extremely strong wind regime, the lowest wind intensity is observed in the summer-autumn period. The transitional early spring period is characterized by an intermediate level of wind load, but the greatest variability of indicators, which also emphasizes the transitional nature of this time stage of the year. It was established that the maximum value of the wind factor for these areas is observed in winter and is  $3,57 \text{ m}^3 \text{ s}^{-3}$ , and the minimum is observed in August and is  $2,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-3}$ . The central and eastern regions (Manevytskyi, Kovelskyi and Rozhishchenskyi) also form a homogeneous subzone, the peculiarity of which is that the duration of strong winds in the winter period is somewhat shorter compared to the northwestern regions. The highest wind load is observed in the winter months, and the lowest at the end of summer. Geographically, the north-western and south-eastern regions of the region experience the greatest wind load. In terms of time, three consecutive periods can be distinguished: winter, early spring, and summer-autumn.*

**Key words:** wind factor, wind erosion, soil degradation, wind dynamics, pattern, cluster analysis.

### Вступ

Типами деградації ґрунтів є ерозія, опустелювання, збільшення кислотності та засолення. Деградація ґрунтів – погіршення властивостей ґрунтів, зумовлене зміною умов ґрунтоутворення внаслідок господарської діяльності людини або природних процесів, стимульованих цією діяльністю, що супроводжується втратою ґрунтами продуктивних та екологічних функцій. Основними видами деградації ґрунтів є водна та вітрова ерозії, що призводять до втрати найродючішого шару (Bienes, 2016); опустелювання, засолення, осолонцювання, підкислення (De Boer, 2001), підлужування. Ці деструктивні явища погіршують фізичні властивості ґрунтів та призводять до руйнування структури, ущільнення (Celik, 2010), запливання поверхні, кіркоутворення; зниження фільтрувальної здатності (Ding, 2017); втрата макро- та мікроелементів, несприятливі зміни кількості, видового складу та активності мікроорганізмів, зниження буферної ємності (Baldock, 1992). Земельний фонд України складається

переважно з ґрунтів високої природної родючості. За даними Інституту ґрунтознавства та агрохімії УАН, чорноземи, зосереджені переважно у зонах Лісостепу та Степу, складають понад половину сільськогосподарських угідь країни, у тому числі 68% її орних земель (Медведев, 2001).

Найбільша інтенсивність вітрової ерозії в зоні Полісся спостерігається у весняний і осінній періоди, коли щільність рослинного покриву є найменшою протягом року та відсутній сніговий покрив. Дефіцит опадів і пересихання верхнього шару ґрунту є фактором ризику інтенсифікації дефляції (Su, 2004). Важливими заходами боротьби з вітровою ерозією є заліснення піщаних земель на підвищених елементах рельєфу, садіння по межі полів лісосмуг для зменшення швидкості вітру (Мольчак, 2010). До організаційно-господарських заходів з охорони ґрунтів від дефляції відносяться наступні: диференційоване використання земель залежно від природних умов, раціональне розміщення земельних

угідь різного призначення (Posthumus, 2015), оптимізація структури сільськогосподарських угідь, раціональне розміщення сівозмін різних типів, організація ґрунтозахисних сівозмін, науково обґрунтоване розміщення полів та робочих ділянок, лісомеліоративні та інші заходи, науково обґрунтований підбір сільськогосподарських культур, обмеження в ступені сільськогосподарського освоєння території, консервація земель (Медведев, 2001).

### **Матеріал та методи**

Дослідження проводили впродовж 2020–2021 рр. Для оцінки втрат ґрунту внаслідок вітрової ерозії використовували модель RWEQ. RWEQ включає коефіцієнт погоди (WF), коефіцієнт ґрунтової кірки (SCF), коефіцієнт чутливості до ерозії (EF), шорсткість (K) та фактор рослинності/залишків сільськогосподарських культур на поверхні ґрунту (COG), параметр поля для оцінки розміру та орієнтації поля та швидкість вітру, яка залежить від схилу та висоти пагорбів (Youssef, 2012). Ця модель базується на польових та лабораторних дослідженнях (Saleh, 1999). Як і у більшості моделей ерозії вітру, вітер відіграє ключову роль в якості основної рушійної сили цієї моделі. Модель оцінює кількість потоку осадів ( $Q$  ( $Z$ ) у  $\text{кг м}^{-1}$ ) за визначені періоди на основі одноподії, до висоти 2 м на відстані вітру ( $Z$  в м) для конкретної довжини поля на основі відомостей про рівновагу між ерозивністю вітру та ерозивністю ґрунту (Youssef, 2012).

### **Результати та обговорення**

Протягом року значення фактору вітру є найбільшим взимку, а найменшим – влітку (у серпні). Також спостерігається закономірна зміна просторових патернів цього показника протягом року (рис. 1). У січні найбільше значення цього показника характерне для сходу та заходу Волинської області, а найменше – для

північного сходу. У лютому зона мінімуму фактору вітру зміщується у південний схід області, а загальна просторова картина розподілу показника залишається незмінною. У березні територія області розподіляється на область високих значень фактору вітру, яка орієнтована у напрямку з південного сходу на північний захід та областями зменшеного вітрового навантаження на північному сході та південному заході. У квітні зони з найменшим рівнем вітрового навантаження поєднуються і таким чином області з найбільшим рівнем вітрового навантаження стають роздільними на південному сході та північному заході. У травні та червні області з високим значенням вітрового фактору поєднуються на півночі й, відповідно, утворюють на півночі зону значних вітрових навантажень. У липні, серпні та вересні зона високих вітрових навантажень зосереджена на північному заході області. У жовтні найбільший рівень вітрового навантаження встановлений для сходу області. У листопаді та грудні знову відновлюється конфігурація вітрів за якої найбільший рівень фактору вітру є характерним для північного сходу та південного заходу.

Часова динаміка вітрового режиму формує певні патерни, що обумовлює формування відповідних кластерів місяців року як показників часової регулярності вітрового режиму (рис. 2) та кластерів адміністративних районів як показників просторової регулярності вітрового режиму (рис. 3).

У часовому аспекті можна виділити три послідовних періоди: зимовий, ранньовесняний та літньо-осінній. Ранньовесняний період є найменш тривалим (два місяці), що дозволяє його інтерпретувати як перехідний. Така інтерпретація пояснює включення до цього кластеру за динамічними особливостями серпня як також перехідного періоду від літнього режиму вітрів до осіннього.



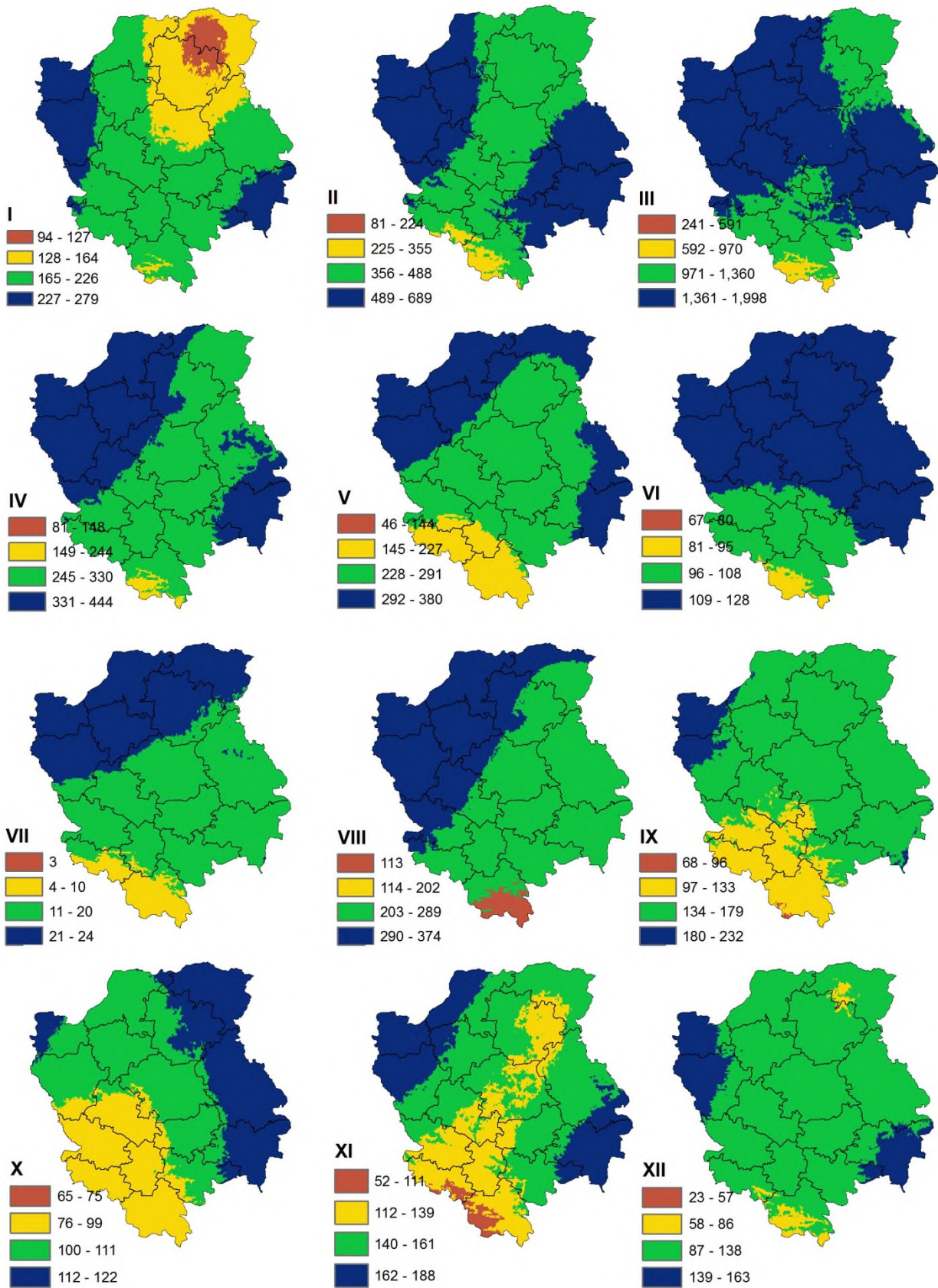


Рис. 1. Просторове варіювання фактору вітру ( $\text{m}^3 \text{s}^{-3}$ ) у межах Волинської області по місяцях року (I, ..., XII – місяці року)

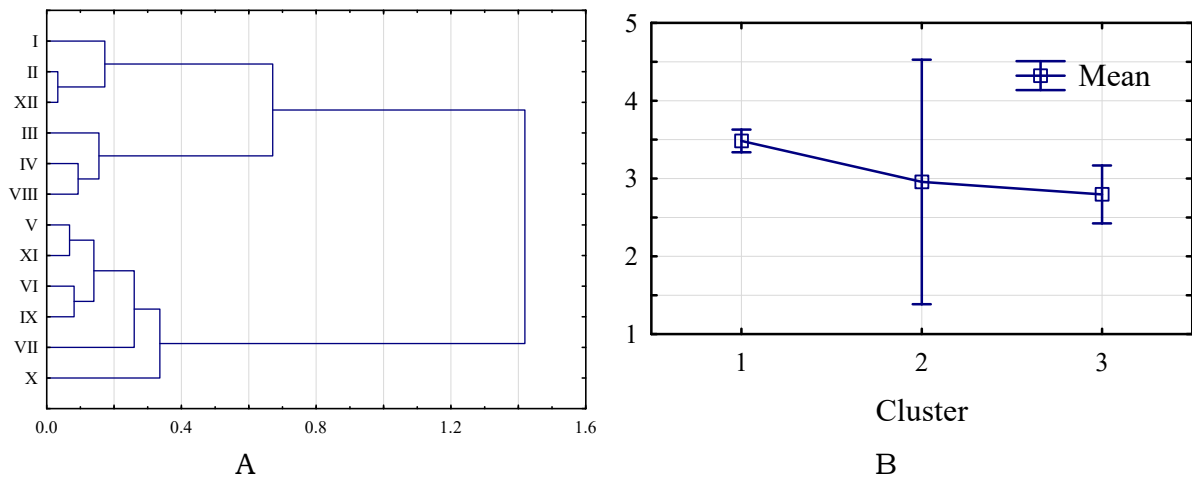


Рис. 2. Кластерний аналіз місяців року за показниками фактору вітру (А) та середнє й стандартне відхилення фактору вітру за відповідними кластерами (В). Метод Варда, дистанція Пірсона. Кластери: 1 – I, II, XII, 2 – III, IV, VIII, 3 – V, VI, VII, IX, X, XI

Надпотужним вітровим режимом характеризується зимовий період, найменша інтенсивність вітру спостерігається в літньо-осінній період. Перехідний ранньовесняний період характеризується проміжним рівнем вітрового навантаження, але найбільшою варіабельністю показників, що також підкреслює перехідний характер цього часового етапу в році. Гомогенне утворення за

критерієм подібності вітрового режиму представляють східні райони Волинської області області: Шацький, Любомльський, Володимир-Волинський та Іваничівський райони. Дуже близькі до вказаних районів за вітровим режимом є центральні та південні райони області: Турійський, Локачинський та Горохівський. Власне, вказані території формують один дуже однорідний кластер.

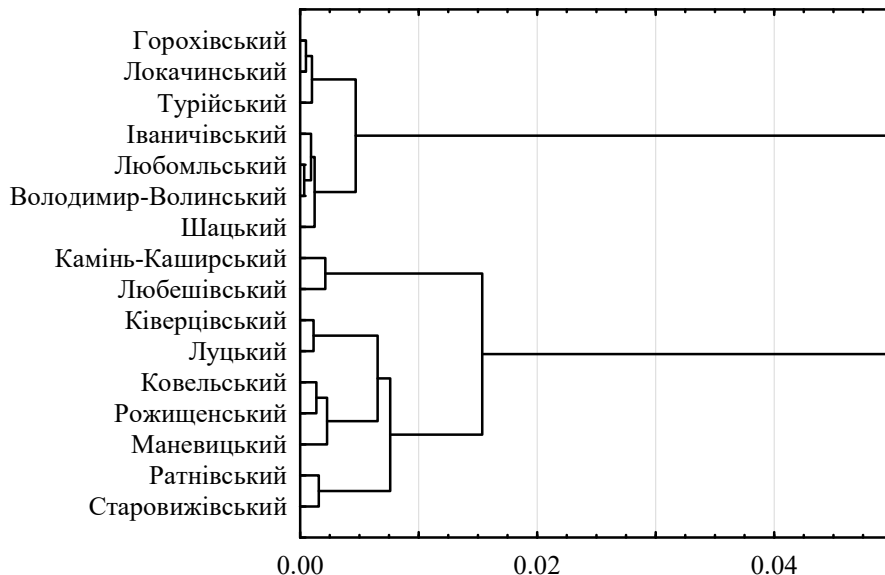


Рис. 3. Кластерний аналіз адміністративних районів за показниками фактору вітру. Метод Варда, дистанція Пірсона

Північні Камінь-Каширський та Любешівський райони формують дуже специфічний кластер, який суттєво

відрізняється від усіх інших. Як відмічалось раніше, зона на півночі відрізняється від сусідніх північно-

західних та східних територій значно меншим вітровим навантаженням. Подібним вітровим режимом характеризуються адміністративні райони, які формують однорідний кластер, розміщений у межах області з південного сходу на північний захід. Це зона переважного вітрового навантаження. Ця однорідна зона розпадається на підзони, особливість яких полягає у часовому розмежуванні періодів максимального вітрового навантаження. Це північно-східні райони Ратнівський та Старовижівський райони.

#### **Висновки**

Максимальне значення фактору вітру для цих районів спостерігається взимку та становить  $3,57 \text{ м}^3 \text{ с}^{-3}$ , а мінімальне спостерігається у серпні та

становить  $2,3 \text{ м}^3 \text{ с}^{-3}$ . Центральні та східні райони Волинської області (Маневицький, Ковельський та Рожищенський) формують також однорідну підзону, особливість якої полягає у тому, що тривалість сильних вітрів у зимовий період дещо менша порівняно з північно-західними районами. Південно-східні райони (Луцький, Ківерцівський) відрізняються найвищим рівнем вітрового навантаження на початку зими.

Загалом найбільше вітрове навантаження спостерігається у зимові місяці, а найменше – у кінці літа. У географічному аспекті найбільшого вітрового навантаження зазнають північно-західні та південно-східні райони Волинської області.

#### **Список використаної літератури**

- Bienes R., Marques M. J., Sastre B., García-Díaz A., Ruiz-Colmenero M. Eleven years after shrub revegetation in semiarid eroded soils. Influence in soil properties. *Geoderma*. 2016. 273:106–114.
- De Boer W., Kowalchuk G. A. Nitrification in acid soils: Micro-organisms and mechanisms. *Soil Biol Biochem*. 2001. 33:853–866.
- Celik I., Gunal H., Budak M., Akpinar C. Effects of long-term organic and mineral fertilizers on bulk density and penetration resistance in semi-arid Mediterranean soil conditions. *Geoderma*. 2010.160:236–243.
- W Ding C. H. Effects of soil surface roughness on interrill erosion processes and sediment particle size distribution. *Geomorphology*. 2017.295:801–810.
- Baldock J. A., Oades J. M., Waters A. G., Peng X., Vassallo A. M., Wilson M. A. Aspects of the chemical structure of soil organic materials as revealed by solid-state  $^{13}\text{C}$  NMR spectroscopy. *Biogeochemistry*. 1992.16:1–42.
- Стан родючості ґрунтів України та прогноз його змін за умов сучасного землеробства / Медведєв В.В. та ін. Харків: ШТріх, 2001. 100 с.
- Su Y. Z., Zhao H. L., Zhao W. Z., Zhang T. H. Fractal features of soil particle size distribution and the implication for indicating desertification. *Geoderma*. 2004.122:43–49.
- Мольчак Я. О., Потапова А. Г. Конструктивно-географічний аналіз та оцінка природного агроресурсного потенціалу Волинської області. РВВ ЛНТУ. Луцьк. 2010. 2016 с.
- Posthumus H., Deeks L. K., Rickson R. J., Quinton J. N. Costs and benefits of erosion control measures in the UK. *Soil Use Manag*. 2015. 31:16–33.
- Youssef F., Visser S., Karssen D., Bruggeman A., Erpul G. Calibration of RWEQ in a patchy landscape; a first step towards a regional scale wind erosion model. *Aeolian Res*. 2012. 3:467–476.
- Saleh A., Fryrear D. W. Soil roughness for the revised wind erosion equation (RWEQ). *J Soil Water Conserv*. 1999. 54:473–476.

#### **References (translated & transliterated)**

- Bienes, R., Marques, M. J., Sastre, B., García-Díaz, A., Ruiz-Colmenero, M. (2016) Eleven years after shrub revegetation in semiarid eroded soils. Influence in soil

properties. *Geoderma*. 273:106–114. [in English].

De Boer, W., Kowalchuk, G. A. (2001) Nitrification in acid soils: Micro-organisms and mechanisms. *Soil Biol Biochem*. 33:853–866. [in English].

Celik, I., Gunal, H., Budak, M., Akpinar, C. (2010) Effects of long-term organic and mineral fertilizers on bulk density and penetration resistance in semi-arid Mediterranean soil conditions. *Geoderma*. 160:236–243. [in English].

W Ding, C.H. (2017) Effects of soil surface roughness on interrill erosion processes and sediment particle size distribution. *Geomorphology*. 295:801–810. [in English].

Baldock, J. A., Oades, J. M., Waters, A.G., Peng, X., Vassallo, A. M., Wilson, M. A. (1992) Aspects of the chemical structure of soil organic materials as revealed by solid-state<sup>13</sup>C NMR spectroscopy. *Biogeochemistry*. 16:1–42. [in English].

Medvedev, V. V. Lisovyi, M. V. (2001). Stan rodiuchosti gruntiv Ukrainy ta prohnoz yoho zmin za umov suchasnoho zemlerobstva. Kharkiv. [in Ukrainian].

Su, Y. Z., Zhao, H.L., Zhao, W. Z., Zhang, T.H. (2004) Fractal features of soil particle size distribution and the implication for indicating desertification. *Geoderma*. 122:43–49. [in English].

Molchak, Ya.O. & Potapova, A.H. (2010) Konstruktyvno-heohrafichnyi analiz ta otsinka pryrodnoho ahroresursnoho potentsialu Volynskoi oblasti. *RVV LNTU*. Lutsk. [in Ukrainian].

Posthumus, H., Deeks L.K., Rickson, R.J. & Quinton J.N. (2015) Costs and benefits of erosion control measures in the UK. *Soil Use Manag*. 31:16–33. [in English].

Youssef, F., Visser, S., Karssenber, D., Bruggeman, A., Erpul, G. (2012) Calibration of RWEQ in a patchy landscape; a first step towards a regional scale wind erosion model. *Aeolian Res*. 3:467–476. [in English].

Saleh, A. & Fryrear, D.W. (1999) Soil roughness for the revised wind erosion equation (RWEQ). *J Soil Water Conserv*. 54:473–476. [in English].

Отримано: 25 вересня 2022  
Прийнято: 15 листопада 2022



УДК 62-93:681.5

DOI 10.35433/naturaljournal.2.2023.174-180

**АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ДЛЯ  
УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ЗНЕЗАРАЖЕННЯ РЕЦИРКУЛЯЦІЙНОГО  
ПОЖИВНОГО РОЗЧИНУ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧНОГО ГІДРОПОННОГО  
ПОЛИВУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР У СЕРЕДОВИЩІ  
ЗАХИЩЕНОГО ҐРУНТУ**

**А. Г. Савченко<sup>1</sup>, С. В. Міненко<sup>2</sup>, В. М. Савченко<sup>3</sup>**

*Вирішальним для розв'язання проблем із забезпечення продовольчої безпеки в Україні з одночасним збереженням та відновленням екології навколишнього середовища має стати інтенсивний метод ведення господарювання, тобто орієнтація суб'єктами господарювання власної діяльності на інноваційний тип розвитку, активне використання науково-технічних розробок та впровадження сучасних агроінновацій. У свою чергу якісні та кількісні показники продукції рослинництва захищеного ґрунту залежать від технічного стану технологічного обладнання.*

*У роботі наведено результати дослідження та аналіз існуючих енергетичних установок для ультрафіолетового знезараження рециркуляційного поживного розчину в системах автоматичного гідропонного поливу сільськогосподарських культур в середовищі захищеного ґрунту. Також з'ясування впливу процесів фільтрації та знезараження поживного розчину на наявність мікроорганізмів при повторному використанні розчину в системах гідропонного автоматизованого поливу рослин. Наведено необхідну дозу опромінення для 90% знезараження рециркуляційного розчину від різних бактерій, вірусів та спор грибків та залежність бактерицидної ефективності від довжини світлових хвиль. УФ-промені довжиною від 200 до 280 нм (УФ-С діапазон) мають найбільш виражений бактерицидний ефект. Дослідження в цій області показали, що оптимальною для опромінення є довжина*

<sup>1</sup> кандидат історичних наук,  
доцент кафедри електрифікації,  
автоматизації виробництва та інженерної екології,  
(Поліський національний університет, м. Житомир)  
e-mail:slgua@ukr.net

ORCID: 0000-0002-7689-4982

<sup>2</sup> кандидат технічних наук,  
доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу,  
(Поліський національний університет, м. Житомир)  
e-mail:dgs-ua1@ukr.net

ORCID: 0000-0003-0327-0017

<sup>3</sup> кандидат технічних наук,  
доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу,  
(Поліський національний університет, м. Житомир)  
e-mail:dgs-ua@ukr.net

ORCID: 0000-0002-0921-1424



хвилі 253,7 нм. В результаті такого опромінення мікроорганізми гинуть або втрачають здатність до відтворення. Доведено, що класична схема компоновки енергетичних установок для ультрафіолетового знезараження рециркуляційного розчину є малоефективною, адже вона не позбавляє рециркуляційний розчин мутності та наявності заліза і не гарантує високий ККД установок для ультрафіолетового знезараження. В роботі відображений метод карбонатного осадження іонів металів, що базується на утворенні нерозчинних сполук металів в результаті обробки водного розчину карбонатами чи гідрокарбонатами лужних металів. Перспективою подальших досліджень є розробка методів та засобів удосконалення роботи енергетичних установок для ультрафіолетового знезараження рециркуляційного поживного розчину при вирощуванні продукції рослинництва захищеного ґрунту.

**Ключові слова:** енергетичні установки, ультрафіолетове знезараження, рециркуляційний поживний розчин, продукція рослинництва захищеного ґрунту, гідропонний полив.

## **ANALYSIS OF EXISTING ENERGY INSTALLATIONS FOR ULTRAVIOLET DISINFECTION OF RECIRCULATING NUTRIENT SOLUTION IN SYSTEMS OF CROPS AUTOMATIC HYDROPONIC IRRIGATION IN PROTECTED GROUND**

**L. G. Savchenko, S. V. Minenko, V. M. Savchenko**

*Decisive for solving food security problems in Ukraine while preserving and restoring the ecology of the environment should be an intensive method of management, i.e. the orientation of economic entities of their own activities on the innovative type of development, active use of scientific and technical developments and implementation of modern agricultural innovations. In its turn, the qualitative and quantitative indicators of crop production of protected soil depend on the technical condition of technological equipment.*

*The purpose of the work is research and analysis of existing power plants for ultraviolet disinfection of recirculating nutrient solution in systems of automatic hydroponic irrigation of crops in a protected soil, as well as elucidation of the impact of filtration and disinfection of nutrient solution on the presence of microorganisms when reusing plants in systems. The paper investigates the ways to improve the operation of power plants for ultraviolet disinfection of recirculating nutrient solution in the cultivation of crop products of protected soil. It provides the value of the required radiation dose for 90% disinfection of the recirculation solution from various bacteria, viruses and fungal spores and the dependence of bactericidal efficiency on the wavelength of light. Ultraviolet rays with a length from 200 to 280 nm (UV-C range) have the most pronounced bactericidal effect. Research in this area has shown that the optimal wavelength for irradiation is 253.7 nm. As a result of such irradiation, microorganisms die or lose their ability to reproduce. It has been proven that the classical layout scheme of power plants for ultraviolet disinfection of the recirculation solution is inefficient, because it does not rid the recirculation solution of turbidity and the presence of iron and does not guarantee high efficiency of the ultraviolet disinfection plants. The paper describes the method of carbonate precipitation of metal ions, which is based on the formation of insoluble metal compounds as a result of treatment of an aqueous solution with carbonates or bicarbonates of alkali metals. Prospects for further research are the development of methods and tools to improve the operation of power plants for ultraviolet disinfection of recirculating nutrient solution in the cultivation of crop products of protected soil.*

**Key words:** power plants, UV-disinfection, recirculating nutrient solution, plant products of protected soil, hydroponic watering.

### **Вступ**

У роботах ряду вчених (Якобчук, 2020; Гуменний, 2014; Козир, 2006) зазначається, що вирішальним для розв'язання проблем із забезпечення продовольчої безпеки в Україні із одночасним збереженням та

відновленням екології навколишнього середовища має стати інтенсивний метод ведення господарювання, тобто орієнтація суб'єктами господарювання власної діяльності на інноваційний тип розвитку, активне використання науково-технічних розробок та

впровадження сучасних агроінновацій. При цьому, як зазначено в роботі Якобчук, Савченко (2020), якісні та кількісні показники продукції рослинництва захищеного ґрунту залежать від технічного стану технологічного обладнання. В роботах (Бойко, Савченко, Крот, 2016; Савченко, Крот, 2013) розглянуто вплив культивацийних споруд та технологічних систем на параметри мікроклімату, як основного чинника вищезазначених показників, а також проблеми забезпечення надійності та довговічності технологічного обладнання при вирощуванні продукції захищеного ґрунту, як невід'ємної складової системи забезпечення продовольчої безпеки України (Якобчук, Савченко, 2020).

Метою роботи є аналіз існуючих енергетичних установок для ультрафіолетового знезараження рециркуляційного поживного розчину в системах автоматичного гідропонного поливу сільськогосподарських культур у середовищі захищеного ґрунту.

#### **Матеріал і методи**

Об'єкт досліджень – якість рециркуляційного поживного розчину в системах автоматичного гідропонного поливу. Висвітлені результати наукових робіт слугували матеріалами дослідження. Методи дослідження: бібліографічний, аналітичний.

#### **Результати**

Велика кількість підприємств, які спеціалізуються на вирощуванні продукції захищеного ґрунту, починають використовувати системи рециркуляції дренажного розчину. Це пов'язано з екологічними вимогами, які обмежують скидання дренажу в навколишнє природне середовище, а також з можливістю заощадження води та добрив. Проведені дослідження (Paludan, 1982; Tomlinson, Faithull, 1984; Berkelmann, Wohanka, Wolf, 1994) показують, що при повторному використанні дренажних вод істотно

зростає ризик перенесення збудників хвороб. Щоб виключити можливість поширення патогенних мікроорганізмів водою в процесі рециркуляції, її потрібно стерилізувати перед повторним використанням. В даний час в тепличній галузі використовують три основних види дезінфекції: термічна обробка, ультрафіолетове опромінення і озонування. Найбільш поширеним в галузі рослинництва захищеного ґрунту є вид дезінфекції рециркуляційного поживного розчину на основі ультрафіолетового опромінення.

УФ-промені довжиною від 200 до 280 нм (УФ-С діапазон) мають найбільш виражений бактерицидний ефект. Дослідження в цій області показали, що оптимальною для опромінення є довжина хвилі 253,7 нм (Рунія, 2011). У результаті такого опромінення мікроорганізми гинуть або втрачають здатність до відтворення. Детально дози опромінення, необхідні для знезараження дренажного розчину, відображені в роботі Рунія В. Т. (Рунія, 2011). Резюмуючи можна сказати, що для створення нормального інфекційного фону достатня доза опромінення в  $150 \text{ мДж/см}^2$ , а для повної дезінфекції води, включаючи віруси, рекомендується доза, яка рівна  $250 \text{ мДж/см}^2$ .

Залежність бактерицидної ефективності від довжини світлових хвиль представлена на рисунку 1.

На основі експертної оцінки групи фахівців провідних тепличних комбінатів України було встановлено, що якість ультрафіолетового знезараження дренажу поживного розчину залежить від його фізико-хімічного складу. А саме великий вплив на якісні показники роботи енергетичних установок для ультрафіолетового знезараження відіграє прозорість дренажного розчину.



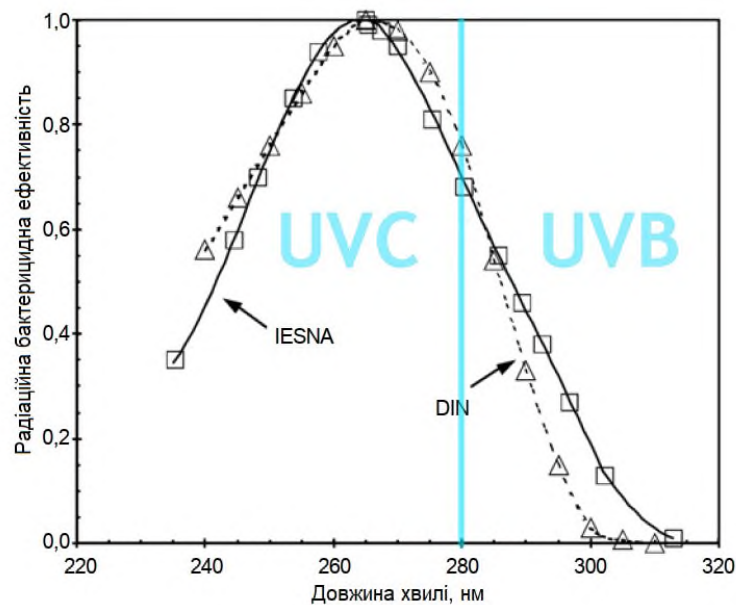


Рис. 1. Залежність бактерицидної ефективності від довжини світлових хвиль (Радовенчик, Радовенчик, 2018)

Вивчено зміни різних параметрів води, що відбуваються в результаті фільтрування, вплив різних факторів на ефективність процесу видалення іонів заліза. При цьому для досягнення необхідних рівнів вмісту іонів заліза, в тому числі і у дренажі поживного розчину для рослин, використовується велика кількість методів знезалізнення, які можна розділити на основні чотири групи: безреагентні, реагентні, катіонообмінні та біохімічні (Орлов та ін., 2013). Найбільшого поширення в галузі народного господарства набули безреагентні та реагентні методи. Безреагентні методи базуються на окисленні іонів заліза (II) киснем повітря (Орлов та ін., 2013). Використання спеціальних матеріалів природного чи штучного походження, котрі виступають в якості каталізаторів, дозволяє сумістити процес окислення та формування відшарувань гідроксидів та видаляти

їх при механічному фільтруванні за допомогою фільтрів грубої очистки. В роботі (Schöller, van Dijk, Wilms, 1987) відображений метод карбонатного осадження іонів металів, що базується на утворенні нерозчинних сполук металів в результаті обробки водного розчину карбонатами чи гідрокарбонатами лужних металів. При цьому досягається досить низька залишкова концентрація металів, що є досить ефективним. Разом з тим, метод потребує використання високооб'ємних споруд у вигляді відстійників для осадження та розділення фаз.

#### Обговорення

На основі використаних методів дослідження було встановлено необхідну дозу опромінення для знезараження рециркуляційного розчину від різних бактерій, вірусів та спор грибків яка представлена на рисунку 2.

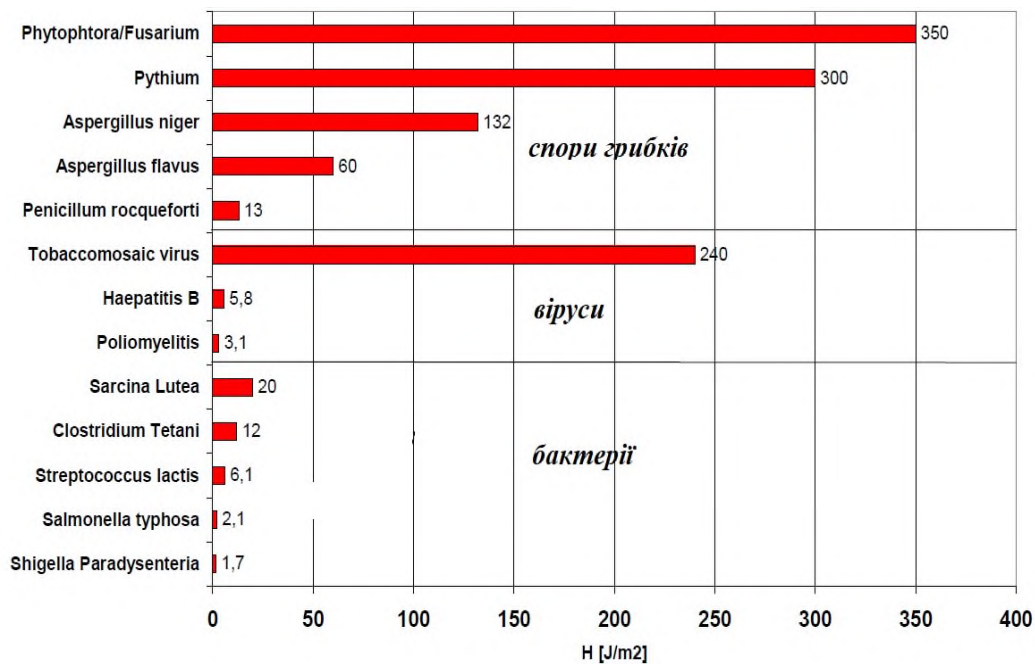


Рис. 2. Необхідна доза опромінення для 90% знезараження рециркуляційного розчину від різних бактерій, вірусів та спор грибків

За допомогою експертної оцінки було встановлено, що ймовірність виходу системи УФ знезараження з роботоздатного стану значно зростає, а ККД її роботи значно зменшується, при значному помутнінні розчину, що є наслідком наявності в ньому часток кокосового субстрату та торфяно-грунтових сумішей, які забарвлюють дренажний розчин в процесі рециркуляції, ще одним чинником, що призводить до значного зниження ефективності роботи вищезазначених систем – це наявність в дренажному розчині більше 6% заліза.

#### Висновки

Класична схема компоновки енергетичних установок для

ультрафіолетового знезараження рециркуляційного розчину є малоефективною, адже вона не позбавляє рециркуляційний розчин мутності та наявності заліза і не гарантує високий ККД установок для ультрафіолетового знезараження.

Перспективою подальших досліджень є розробка методів та засобів удосконалення роботи енергетичних установок для ультрафіолетового знезараження рециркуляційного поживного розчину при вирощуванні продукції рослинництва захищеного ґрунту.

#### Список використаної літератури

Бойко А. І., Савченко В. М., Крот В. В. Проблеми забезпечення надійності технологічного обладнання при вирощуванні продукції захищеного ґрунту в АПК України. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2016. № 6. С. 200 – 203.

Гуменний В. Д., Музика П. М. Стан продовольчої безпеки населення України на початку тисячоліття. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. Іжницького*. 2014. Т. 16. № 1(1). С. 134 – 150.

Козир В. С., Гуменний В. Д., Ткалич В. В. Деякі питання продовольчої безпеки. Матер. міжн. наук.-практ. конф. XVIII (XXIX) «Кроки науки назустріч виробництву». ІТЦР УААН. Дніпропетровськ, 2006. С. 12 – 15.

Орлов В. О., Мартинов С. Ю., Меддур М. М., Куницький С. О. Технологія знезалізнення води для питних потреб. Ресурсосбережение и энергоэффективность инженерной инфраструктуры урбанизированных территорий. 2013. URL: <http://eprints.kname.edu.ua/32156/1/7.pdf>.

Положение дел в области продовольствия и сельского хозяйства. Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединённых наций. Рим, 2009. 187 с.

Радовенчик В. М., Радовенчик Я. В. Знезалізнення води фільтруванням через завантаження із карбонату кальцію. *Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження*. 2018. № 1. С. 85 – 89.

Руния В. Т. Уничтожение корневых патогенов в воде, используемой в закрытых системах выращивания с помощью ультрафиолетового излучения. *Овощеводство и Тепличное хозяйство*. 2011. № 3. С. 34 – 40.

Савченко В. М., Крот В. В. Вплив культиваційних споруд та технологічних систем на параметри мікроклімату при вирощуванні продукції захищеного ґрунту. Крамаровські читання: зб. тез доп. II міжнар. наук.-техн. конф., 3 квіт. 2013. К.: НУБіП, 2013. С. 72 – 74.

Якобчук В. П., Савченко В. М. Вплив технічного стану культиваційних систем захищеного ґрунту на продовольчу безпеку України. Крамаровські читання: зб. тез доп. VII міжнар. наук.-техн. конф., 20-21 лют. 2020. К.: НУБіП, 2020. С. 189 – 191.

Berkelmann B., Wohanka W., Wolf G. Characterisation of the bacterial flora in recirculating nutrient solutions of a hydroponic system with rockwool. *Acta Hort.* 1994. 361. P. 372 – 381.

CIE Technical Division 6. CIE 155: 2003 Ultraviolet Air Disinfection. Vienna, Austria; 2003. doi:ISBN 978 3 901906 25 1.

Paludan N. Virus diseases in vegetables. *Plant Diseases and Pests in Denmark* 1982. 1983. P. 41 – 43.

Schöller M., van Dijk J. C., Wilms D. Recovery of heavy metals by crystallization. *Metal Finish*. 1987. 85. № 11. P. 31 – 34.

Tomlinson J. A., Faithull E. M. Studies on the occurrence of tomato bushy stunt virus in English rivers. *Ann. appl. Biol.* 1984. 104. P. 475 – 495.

### References (translated and transliterated)

Boiko, A. I., Savchenko, V. M., Krot, V. V. (2016) Problemy zabezpechennia nadiinosti tekhnolohichnoho obladnannia pry vyroshchuvanni produktsii zakhyshchenoho ґрунту v apk ukrainy [Problems of providing reliability of technological machinery when growing products of protected soil in agrarian and industrial complex of ukraine]. *Tekhnichniy servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnoho kompleksiv* [Technical service of agriculture, forestry and transport systems], 6, 200 – 203. [in Ukrainian].

Humennyi, V. D., Muzyka, P. M. (2014). Stan prodovolchoi bezpeky naselennia Ukrainy na pochatku tysiacholittia [The state of food security of the population of Ukraine at the beginning of the millennium]. *Naukovyi visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu veterynarnoi medytsyny ta biotekhnolohii im. Gzhytskoho* [Scientific Bulletin of the Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology named by Gzhitskyi], 16, 1 (1), 134 – 150. [in Ukrainian].

Kozyr, V. S., Humennyi, V. D., Tkalych, V. V. (2006). Deiaki pytannia prodovolchoi bezpeky [Some issues of food safety]. *Mater. mizhn. nauk.-prakt. konf. XVIII (XXIX) «Kroky nauky nazustrich vyrobnytstvu»* [Materials of the international scientific and

practical conference XVIII (XXIX) “Steps of science towards production”, 2006, 12 – 15. [in Ukrainian].

Orlov, V. O., Martynov, S. Iu., Meddur, M. M., Kunytskyi, S. O. (2013). Tekhnolohiia znezalznennia vody dlia pytnykh potreb [Technology of iron removal of water for drinking purposes]. Resursoberezheniye i energoeffektivnost inzhenernoy infrastruktury urbanizirovannykh territoriy [Resource saving and energy efficiency of the engineering infrastructure of urbanized territories]. URL: <http://eprints.kname.edu.ua/32156/1/7.pdf>. [in Ukrainian].

Polozheniye del v oblasti prodovolstviya y selskoho khoziaistva. Prodovolstvennaia y selskokhoziaistvennaia orhanyzatsiya ob'edynennykh natsyi. Rym, 2009. 187. [in Russian].

Savchenko, V. M., Krot, V. V. (2013). Vplyv kulyvatsiinykh sporud ta tekhnolohichnykh system na parametry mikroklimatu pry vyroshchuvanni produktsii zakhyshchenoho gruntu [The influence of cultivation facilities and technological systems on microclimate parameters during the cultivation of protected soil products]. Kramarovski chytannia : zb. tez dop. II mizhnar. nauk.-tekhn. konf., 3 kvit. 2013 [Kramarov's readings: a collection of theses of reports of the II International Scientific and Technical Conference, April 3 2013.], 72 – 74. [in Ukrainian].

Radovenchyk, V.M., Radovenchyk, Ya. V. (2018). Znezalznennia vody filtruvanniam cherez zavantazhennia iz karbonatu kaltsiiu [De-ironing of water by filtration through calcium carbonate loading]. *Khimichna inzheneriia, ekolohiia ta resursozberzhennia* [Chemical engineering, ecology and resource conservation], 1, 85 – 89. [in Ukrainian].

Runyia, V. T. (2011). Unichtozheniye kornevykh patogenov v vode. ispolzuemoy v zakrytykh sistemakh vyrashchivaniya s pomoshchyu ultrafioletovogo izlucheniya [Destruction of root pathogens in water. used in closed growing systems using ultraviolet radiation.]. *Ovoshchevodstvo y Teplychnoe khoziaistvo* [Vegetable growing and greenhouse farming], 3, 34 – 40. [in Russian].

Iakobchuk, V. P. (2020). Vplyv tekhnichnoho stanu kulyvatsiinykh system zakhyshchenoho gruntu na prodovolchu bezpeku Ukrainy [The influence of the technical condition of protected soil cultivation systems on the food security of Ukraine]. Kramarovski chytannia : zb. tez dop. VII mizhnar. nauk.-tekhn. konf., 20-21 liut. 2020 [Kramarov's readings: a collection of theses of reports of the VII International science and technology conference, February 20-21. 2020.], 189 – 191. [in Ukrainian].

Berkelmann, B., W. Wohanka, and G. Wolf. (1994). Characterisation of the bacterial flora in recirculating nutrient solutions of a hydroponic system with rockwool. *Acta Hort.* 361, 372 – 381. [in English].

CIE Technical Division 6. CIE 155: 2003 Ultraviolet Air Disinfection. Vienna, Austria; 2003. doi:ISBN 978 3 901906 25 1. [in English].

Paludan, N. (1983). Virus diseases in vegetables. *Plant Diseases and Pests in Denmark*, 1982, 41 – 43. [in English].

Schöller, M., van Dijk, J. C., Wilms, D. (1987). Recovery of heavy metals by crystallization. *Metal Finish*, 85 (11), 31 – 34. [in English].

Tomlinson, J. A. & Faithull, E. M. (1984). Studies on the occurrence of tomato bushy stunt virus in English rivers. *Ann. appl. Biol.* 104, 475 – 495. [in English].

Отримано: 6 жовтня 2022  
Прийнято: 22 листопада 2022

## ЗМІСТ

---

### Біологія

- Є. В. Никончук, В. С. Костюк, А. К. Хом'як** **5**  
Нова знахідка *Sparassis Crispa* (Wulfen) Fr 1821 на території Словечансько-Овруцького кряжу
- М. К. Пацюк** **19**  
Нові знахідки голих філозних амеб у природних біотопах України
- V. I. Shcherbak, N. M. Korniychuk** **34**  
Phytoplankton primary productivity

### Екологія

- N. Ye. Semeniuk** **45**  
Ecological water quality
- О. В. Медвідь, І. Ю. Коцюба, І. В. Хом'як** **57**  
Вплив зворотних вод Жежелівського гранітного кар'єру на формування рослинних угруповань
- М. М. Семенюк, Н. С. Демчук, М. С. Козин** **69**  
Мультидисциплінарний підхід до проблеми охорони малих річок Житомирського Полісся

### Географія

- О. D. Lavryk, V. V. Tymbaliuk, L. I. Poshtaruk** **85**  
Recognition of a landscape techno-sphere as a new geosphere
- П. В. Пивовар, О. М. Николук, П. П. Топольницький** **95**  
Аналіз земного покриття територіальних громад Житомирської області з використанням ГІС-технологій
- Т. М. Шовкун, В. М. Зінченко, І. В. Мирон** **118**  
Сучасний стан та перспективи розвитку туризму в національних природних парках Східного Полісся
- А. В. Орещенко** **126**  
Кафедра геодезії та картографії географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка: історія, сучасність, перспективи

### Хімія

- В. В. Листван, А. В. Жмурчук, В. М. Листван** **143**  
Синтез потенційних рідких кристалів з холестерилловим фрагментом за реакцією Віттіга
- А. П. Кусяк** **155**  
Нанодисперсні люмінесцентні структури для оптофармакології та фотодинамічної терапії: синтез і властивості

### Агрономія

- Б. В. Матвійчук, Н. Г. Матвійчук** **167**  
Фактор вітру у просторово-часовій динаміці вітрової ерозії у межах Волинської області

**Л. Г. Савченко, С. В. Міненко, В. М. Савченко**

**174**

Аналіз існуючих енергетичних установок для ультрафіолетового знезараження рециркуляційного поживного розчину в системах автоматичного гідропонного поливу сільськогосподарських культур у середовищі захищеного ґрунту