



ISSN 2663-0613 (online)

НАЦІОНАЛЬНИЙ
«КИЄВО-МОГИЛЯНСЬКА АКАДЕМІЯ»

УНІВЕРСИТЕТ

НАУКОВІ

ТОМ 8

2025 р.

записки
НаУКМА

Біологія і екологія



LABARVM Triumphale TRIADOS

per Tru. Dignissimos Tutelares adibra

Kiieva Mohilaiana Palladis Militantibz

in Christo Patris P: Procopii Kotaczynski

Emittissimis intra ficias a drunetissimo suo

PRÆSENTATVM.

Trino Virtutu Theologiaru Choro

to illustre sub Signis Alma Orthodoxæ

Præfixum Ac notales Reuerendissimi

eisdem Alma Orthodoxi Collegii Rectoris

Nomini Innocentio Szelyski. monacho O.D.B.

Quo Vexilla micat: tonat ei quo classica Mauors: Spis.A

Fides, te feriat quas. Sferatque Divi:

ISSN 2663-0613 (online)



НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«КИЄВО-МОГИЛЯНСЬКА АКАДЕМІЯ»

НАУКОВІ ЗАПИСКИ НаУКМА БІОЛОГІЯ І ЕКОЛОГІЯ

Том 8 ♦ 2025

Науковий рецензований фаховий електронний журнал
Щорічник ♦ Заснований у 1996 р.

nrpbe.ukma.edu.ua

Київ
2025

**Національний університет «Києво-Могилянська академія»
заснував видання «Наукові записки НаУКМА» 1996 року**

«Наукові записки НаУКМА. Біологія і екологія» (англ. *NaUKMA Research Papers. Biology and Ecology*) – науковий рецензований фаховий електронний журнал (категорія «Б») відкритого доступу, який публікує статті з біологічної та екологічної проблематики. Виходить один раз на рік.

Видання проіндексовано в науково-репозитарних базах, наукометричних базах даних та наукових пошукових системах: Наукова періодика України, AGRIS (International System for Agricultural Science and Technology), Basereach (Bielefeld Academic Search Engine), CORE, Crossref, Dimensions, EBSCO Central & Eastern European Academic Source, EBSCO Global Health, Google Scholar, Index Copernicus International, OpenAire Explore, Open Ukrainian Citation Index, Scilit, Sherpa Romeo, Ulrichsweb (Ulrich's periodicals directory) та ін.

Мови видання: українська, англійська

Вебсайт журналу: <http://nrpbe.ukma.edu.ua>

Редакційна колегія

Терновська Тамара Костянтинівна, доктор біологічних наук, професор (НаУКМА),
<https://orcid.org/0000-0002-9712-1516>

головний редактор

Антонюк Максим Зиновійович, доктор біологічних наук, старший науковий співробітник (НаУКМА),
<https://orcid.org/0000-0002-5877-969X>

відповідальний секретар розділу «Біологія»

Вишенська Ірина Георгіївна, кандидат біологічних наук, доцент (НаУКМА),
<https://orcid.org/0000-0002-2075-5705>

відповідальний секретар розділу «Екологія»

Білько Надія Михайлівна, доктор медичних наук, професор (НаУКМА),
<https://orcid.org/0000-0002-3213-0032>

Верьовка Сергій Вікторович, доктор біологічних наук, професор
(ДУ «Інститут отоларингології ім. проф. О. С. Коломійченка НАМН України»),
<https://orcid.org/0000-0002-3578>

Дідух Яків Петрович, доктор біологічних наук, професор, академік НАН України
(Інститут ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України),
<https://orcid.org/0000-0002-3611-3993>

Кравець Олександра Петрівна, доктор біологічних наук, старший науковий співробітник
(Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України),
<https://orcid.org/0000-0002-4979-5022>

Міхєєв Олександр Миколайович, доктор біологічних наук, старший науковий співробітник
(Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України),
SCOPUS ID: 35753492600

Сергєєва Тетяна Анатоліївна, доктор біологічних наук, старший науковий співробітник, член-кореспондент НАН України
(Інститут молекулярної біології і генетики НАН України),
<https://orcid.org/0000-0003-3486-2701>

Федак Джордж, доктор біологічних наук, головний науковий співробітник
Міністерства сільського господарства і продовольства Канади (Оттава, Канада),
SCOPUS ID: 7003787485

Здійснюється подвійне анонімне рецензування матеріалів

Редагування і коректура *Наталія Мінько, Анна Малишева*
Комп'ютерне верстання *Андрій Шмаркатюк*

Засновник і видавець:

Національний університет
«Києво-Могилянська академія»

Ідентифікатор

у Реєстрі суб'єктів у сфері медіа: **R40-04345**
(рішення Національної ради України з питань
телебачення і радіомовлення № 1158 від 11.04.2024)

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру
видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції серія ДК № 3631 від 23.11.2009

Входить до Переліку наукових фахових видань України,
в яких можуть оприлюднюватися результати
дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора наук,
кандидата наук та ступеня доктора філософії,
категорія «Б» (наказ Міністерства освіти і науки України
від 28.12.2019 № 1643; зі змінами від 24.02.2025 № 349)

Адреса редакції:

вул. Г. Сковороди, 2, м. Київ, 04070
тел.: (044) 425-45-44

e-mails: antonyuk.m@ukma.edu.ua
vyshenska@ukma.edu.ua
redviddil@ukma.edu.ua

DOI: 10.18523/2617-4529.2025.8.3-9

УДК 612.119+57.086.833.4+616.411

Білько Н. М.¹, Стародуб Г. С.², Третяк Н. М.², Горяїнова Н. В.²,

Пахаренко М. В.¹, Руссу І. З.¹, Білько Д. І.¹

¹ Національний університет «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА), Київ, Україна

² ДУ «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології
Національної академії медичних наук України», Київ, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ГЕМОПОЕТИЧНИХ КЛІТИН-ПОПЕРЕДНИКІВ У ПАЦІЄНТІВ ІЗ МІЄЛОДИСПЛАСТИЧНИМ СИНДРОМОМ, ЛІКОВАНИХ ЛЕНАЛІДОМІДОМ

Пул стовбурових клітин – основне місце злоякісної трансформації, тому вивчення клітин-попередників при порушеннях кровотворення є одним із найважливіших шляхів розкриття патогенезу злоякісних гемобластозів. Мієлодиспластичний синдром (МДС) – це захворювання системи крові, яке характеризується нестабільністю геному і гетерогенністю. Лікування МДС на ініціальних етапах розвитку процесу (РАНБ І) обмежується імуномодуляторами, одним із яких є леналідомід (lenalidomide). Відомо, що препарат інгібує проліферацію злоякісних клітин, пригнічуючи аномальне клонування шляхом збільшення апоптозу *Del(5q)* клітин. Проте рівень дії леналідоміду на гемопоетичну систему при МДС остаточно ще не встановлений. Вважається, що він посилює клітинний імунітет, опосередкований Т-клітинами та природними клітинами-кілерами, і пригнічує секрецію протизапальних цитокінів. Метою дослідження було вивчення особливостей функціонування гемопоетичних клітин-попередників у разі дії імуномодуючого препарату леналідоміду у хворих на РАНБ І. У роботі здійснено оцінювання показників периферійної крові та колоніє- і кластероутворюючої здатності гемопоетичних клітин-попередників кісткового мозку в культурі з напіврідким агаром. Проведене дослідження показало, що дія імуномодуючого препарату леналідоміду поширюється не тільки на імунну систему, але й на клас найближчих нащадків гемопоетичної стовбурової клітини – гемопоетичних клітин-попередників, стимулюючи в частини з них (24 %) колонієутворення кісткового мозку в культурі і проліферацію всіх трьох ростків у периферійній крові, що є викликом для продовження пошуків терапевтичних підходів у лікуванні МДС, пов'язаних зі стимуляцією ініціальних відділів гемопоєзу.

Ключові слова: гемопоетичні стовбурові клітини, гемопоетичні клітини-попередники, злоякісна трансформація, нестабільність геному, мієлодиспластичний синдром, імуномодулятори, культура клітин.

Вступ

Мієлодиспластичний синдром (МДС) – це захворювання системи крові, яке характеризується нестабільністю геному і гетерогенністю. Його клональність не викликає сумніву, роль найближчих нащадків гемопоетичних стовбурових клітин – клітин-попередників кісткового

мозку – у патогенезі МДС є доведеною [1,2]. Вивчення клітин-попередників при порушеннях кровотворення є одним із найважливіших шляхів розкриття патогенезу злоякісних гемобластозів, оскільки пул стовбурових клітин – основне місце злоякісної трансформації [3,4]. Лікування МДС на ініціальних етапах розвитку процесу

обмежується імуномодуляторами, одним із яких є леналідомід (*lenalidomide*). Він інгібує проліферацію злоякісних клітин, пригнічуючи аномальне клонування шляхом збільшення апоптозу Del(5q) клітин. Леналідомід посилює клітинний імунітет, опосередкований Т-клітинами і природними клітинами-кілерами, і пригнічує секрецію прозапальних цитокинів, як-от фактор некрозу пухлини- α (ФНП- α) та інтерлейкіну ІЛ-6, моноцитами [5,6]. Леналідомід зв'язується безпосередньо з білком цереблном, компонентом кулінового кільця Е3 убіквітин-лігазного ферментного комплексу, який містить білок 1 (DDB1), що зв'язується з пошкодженою ДНК, куліном 4 (CUL4) та регулятором куліну 1 (Roc1) [7].

Мета дослідження – вивчення особливостей функціонування гемопоетичних клітин-попередників у разі дії імуномодуючого препарату леналідоміду у хворих на РАНБ І.

Матеріали та методи дослідження

У процесі роботи було обстежено 29 хворих (13 жінок та 16 чоловіків) на РАНБ І, групи низького та проміжного ризику (за шкалою IPSS), які перебували на лікуванні у відділенні захворювань системи крові та консультативній поліклініці ДУ «Інститут гематології та трансфузіології ННЦРМГО» НАМН України. Вік пацієнтів був від 56 до 78 років (середній вік – 75 років). Пацієнти підписували інформовану згоду на проведення необхідних досліджень. Роботу виконано з дотриманням принципів біоетики, викладених у Гельсінській декларації «Етичні принципи медичних досліджень за участю людей», Загальній декларації про біоетику та права людини (ЮНЕСКО), та схвалено комісією з питань біомедичної етики.

Діагноз встановлювали за критеріями ФАБ-класифікації (з урахуванням змін, запропонованих ВООЗ у 2008 р.) на підставі клінічного і лабораторного обстеження у відділенні захворювань системи крові [8-10]. Пацієнти отримували леналідомід у дозі 10 мг на добу протягом 21 дня з перервою на 7 днів. Після трьох таких курсів за допомогою автоматичного гематологічного аналізатора Sysmex XN-350 визначали відповідні показники периферійної крові (ПК) і кісткового мозку (КМ), отриманого під час трепанобіопсії співробітниками клініки. Визначали рівень гемоглобіну (Hb), лейкоцитів та тромбоцитів. Морфологічну характеристику клітин КМ та підрахунок кількості недиференційованих клітин у КМ проводили ручним методом за допомогою світлового мікроскопа (Leica, США).

Після отримання фракції моноклеарів проводили культивування клітин у напіврідкому агарі. У центральні лунки 24-лункового планшета (Nunc, Німеччина) вносили суспензію такого складу: культуральне середовище DMEM, що містило 20 % фетальної телячої сироватки, L-глутамін (Sigma, США), а також антибіотики пеніцилін (Київмедпрепарат, Україна) та стрептоміцин (Київмедпрепарат, Україна). До культурального середовища додавали гранулоцитарно-макрофагальний колонієстимулюючий фактор (ГМ-КСФ) (Біофарм, Україна), попередньо розведений у стерильному фізіологічному розчині до кінцевої концентрації 40 нг/мл, та суспензію клітин у концентрації 1×10^5 моноклеарів. Напіврідке середовище готували з використанням бактоагару (Difco, США), вихідна концентрація якого становила 3,3 %, із подальшим розведенням до 0,033 %. Планшет розміщували в CO_2 -інкубаторі (LEEC, Велика Британія) за умов 100 % вологості, 5 % концентрації CO_2 та температури 37 °C [11].

Для статистичної обробки експериментального матеріалу застосовували t-критерій Стюдента за формулою

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s^2}{n_1} + \frac{s^2}{n_2}}},$$

де t – значення критерію Стюдента;

$\bar{x}$ – значення вибіркового середнього;

s^2 – об'єднана оцінка дисперсії;

n – обсяг вибірки.

Розрахунки здійснювали на рівні значущості 0,05.

Результати

Аналіз змін у показниках ПК у відповідь на лікування леналідомідом показав, що у разі відсутності позитивної відповіді рівень еритроцитів був у межах $2,0\text{--}2,5 \times 10^{12}/\text{л}$. У результаті лікування, у разі стабілізації процесу і особливо у разі досягнення повної чи часткової ремісії, кількість еритроцитів збільшувалась майже вдвічі ($4,1 \pm 0,6 \times 10^{12}/\text{л}$). Рівень гемоглобіну підвищувався з $69,3\text{--}72,3$ г/л до $125,4 \pm 12,3$ г/л після лікування. Бластні клітини в лейкограмі не виявлялися. У КМ до початку лікування рівень бластних клітин дорівнював $7,9 \pm 0,2$ %. Проте після досягнення стабілізації процесу його значення становило $5,1 \pm 0,5$ %, а в разі досягнення хворими повної / часткової відповіді знижувалося до $4,9 \pm 0,3$ %. Різниця в порівнянні зі станом до лікування статистично достовірна ($p \leq 0,05$).

У культурі *in vitro* з напіврідким агаром (див. рисунок) у процесі лікування спостерігалось формування колоній і кластерів. Кластери розділялися на малі (від 3 до 20 клітин) і великі (від 21 до 39 клітин). До лікування кількість колоній дорівнювала ($12,3 \pm 1,8$) на 1×10^5 мієлоїдних клітин, кластерів – удвічі більше ($24,1 \pm 3,2$). У цій групі спостерігалось 88 % малих кластерів, решта – великі. У разі отримання повної / часткової відповіді на лікування показник КУО-ГМ підвищувався до $23,7 \pm 2,4$ на 1×10^5 мієлокаріоцитів. У цій групі пацієнтів спостерігалися малі кластери (92 % випадків). Їхня кількість була в межах від 10 до 20 на 1×10^5 експлантованих клітин. До лікування вміст колоній становили незрілі мієлоїдні клітини (70 % незрілих і дозріваючих та 30 % зрілих). У результаті лікування у разі отримання повної / часткової відповіді в колоніях спостерігалось збільшення кількості диференційованих елементів мієлоїдного ряду (40 % незрілих і 60 % зрілих).

У досліджуваної групи хворих спостерігалось поліпшення загального стану хворих, зникнення трансфузійної залежності.

У період стабілізації патологічного процесу після отриманого лікування кількість колоній порівняно з ініціальною стадією захворювання збільшувалася. Вона становила $13,4 \pm 3,2$ на 1×10^5 експлантованих клітин ($p \leq 0,05$), що майже в 1,8 раза менше, ніж у хворих у період повної / часткової відповіді. Вміст незрілих та дозріваючих мієлоїдних клітин у колоніях не змінювався і становив 65–68 %. Кількість кластерів становила $25,6 \pm 3,7$ на 1×10^5 експлантованих клітин,

що також не відрізняється від показників під час встановлення діагнозу.

У групі хворих на РАНБ І, які не відповідали на лікування леналідомідом, показники колонієутворення були найменшими. Кількість КУО-ГМ становила $7,8 \pm 1,3$ на 1×10^5 експлантованих клітин, що утричі менше, ніж у разі повної / часткової відповіді. Клітинні агрегати мали примхливу форму. Їхній вміст становили недиференційовані (80 %) і малодиференційовані клітини (20 %). Кластери в культурі були в кількості $35,2 \pm 1,3$; їхній вміст утричі перевищував кількість колоній. Склад кластерів виявився гетерогенним. Переважали великі кластери (80 %). Вважається, що поява в культурі великих кластерів є несприятливим прогнозом і передуює трансформації в гостру лейкемію [12].

Обговорення

Надмірне руйнування гемопоетичних клітин у період розвитку МДС, особливо клітин-попередників, призводить до падіння кількості функціонально зрілих клітин усіх трьох ростків кровотворення. Проявом такого стану є цитопенія і передовсім анемія. Імуномодуючий препарат леналідомід здійснює відновлення гемопоетичної системи завдяки інгібуванню проліферації злоякісних клітин і пригнічненню аномального клонування шляхом збільшення апоптозу Del(5q) клітин поряд із посиленням клітинного імунітету [13–15].

Аналіз результатів проведених досліджень показав, що в результаті лікування леналідомідом у 7 хворих на МДС РАНБ І було встановлено загальну позитивну відповідь (повна або

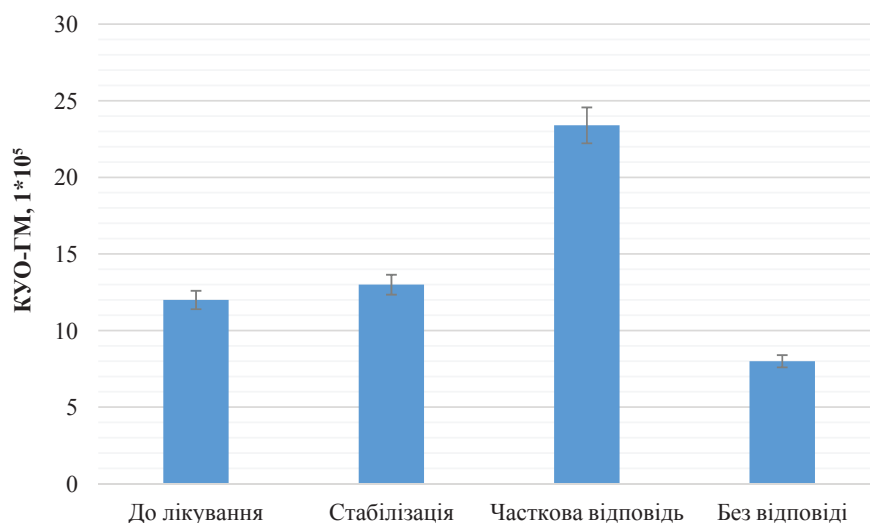


Рисунок. Показники ефективності утворення колоній клітинами кісткового мозку хворих на МДС РАНБ І залежно від рівня відповіді на лікування леналідомідом

часткова КМ відповідь), яка характеризувалася зростанням кількості еритроцитів у ПК майже у 2 рази ($p < 0,05$), підвищенням вмісту Нв в 1,7 рази ($p < 0,05$) та посиленням проліферації колонієутворення в культурі гемопоетичних клітин-попередників. Відсутність відповіді на терапію супроводжувалась у культурі клітин-попередників не тільки падінням кількості колоній, але й збільшенням вмісту кластерів, переважно великих. Збільшення кількості кластерів у культурі може бути пов'язане з тим, що частина колоній у зв'язку з дефектом не досягає розміру колоній. Тому наявність у культурі підвищеного кластероутворення з перевагою великих кластерів поряд із пригніченим колонієутворенням і падінням клітинного складу трьох ростків периферійної крові можуть свідчити про перехід захворювання у стадію більш

глибоких порушень гемопоезу і розглядатимуться як додаткова ознака під час створення протоколів лікування хворих на МДС.

Висновки

Проведене дослідження показало, що дія імуномодулюючого препарату леналідоміду поширюється не тільки на імунну систему, але й на клас найближчих нащадків гемопоетичної стовбурової клітини – гемопоетичних клітин-попередників, стимулюючи колонієутворення кісткового мозку в культурі і проліферацію всіх трьох ростків у периферійній крові. Водночас треба наголосити, що такий результат досягається тільки у 24 % випадків, що є викликом для продовження пошуків терапевтичних підходів у лікуванні МДС, пов'язаних зі стимуляцією ініціальних відділів гемопоезу.

Список літератури

1. Nimer SD. Myelodysplastic syndromes. *Blood*. 2008;111(10):4841-51.
2. Gondek LP, DeZern AE. Assessing clonal haematopoiesis: clinical burdens and benefits of diagnosing myelodysplastic syndrome precursor states. *Lancet Haematol*. 2020;7(1):e73-e81.
3. Zhao M, Li L. Regulation of hematopoietic stem cells in the niche. *Sci China Life Sci*. 2015;58(12):1209-15.
4. Білько ДД, Пахаренко МВ. Особливості функціонування гемопоетичних клітин-попередників кісткового мозку хворих на мієлодиспластичний синдром у культурі *in vitro* і в гелевих дифузійних камерах *in vivo*. *Наукові записки НаУКМА. Біологія і екологія*. 2022;5:33-8. doi:10.18523/2617-4529.2022.5.33-38
5. Flores-Figueroa E, Gutierrez-Espindola G, Guerrero-Rivera S, Pizzuto-Chavez J, Mayani H. Hematopoietic progenitor cells from patients with myelodysplastic syndromes: *in vitro* colony growth and long-term proliferation. *Leukemia research*. 1999 Apr;23:385-94.
6. List AF, Dewald G, Bennett JM, Giagounidis A, Raza A, Feldman E, et al. Lenalidomide in the myelodysplastic syndrome with chromosome 5q deletion. *New England Journal of Medicine*. 2005;352(6):549-57.
7. Gerke MB, Christodoulou I, Karantanos T. Definitions, Biology, and Current Therapeutic Landscape of Myelodysplastic/Myeloproliferative Neoplasms. *Cancers*. 2023;15(15):3815.
8. Vardiman JW, Thiele J, Arber DA, Brunning RD, Borowitz MJ, Porwit A, et al. The 2008 revision of the WHO classification of myeloid neoplasms and acute leukemia: rationale and important changes. *Blood*. 2008;114(5):937-51.
9. Jahandideh B, Derakhshani M, Abbaszadeh H, Akbar Movassaghpour A, Mehdizadeh A, Talebi M, Yousefi M. The pro-Inflammatory cytokines effects on mobilization, self-renewal and differentiation of hematopoietic stem cells. *Hum Immunol*. 2020;81(5):206-17.
10. Tefferi A, Thiele J, Vardiman JW. The 2008 World Health Organization classification system for myeloproliferative neoplasms. *Cancer*. 2009;115(17):3842-7.
11. Пахаренко МВ, Білько ДД, Третяк НМ, Стародуб ГС, Лягоднюк ІЮ, Білько НМ. Функціональна активність кровотворних клітин-попередників при мієлодиспластичному синдромі в умовах *in vitro*. *Наукові записки НаУКМА. Біологія і екологія*. 2020;3:48-52. doi:10.18523/2617-4529.2020.3.48-52
12. Білько НМ. Дослідження гемопоезу у нормі і при захворюваннях системи крові в культурі тканин *in vivo* [автореферат дисертації канд. мед. наук]. Київ; 1982.
13. Ackermann M, Liebhaber S, Klusmann J, Lachmann N. Lost in translation: pluripotent stem cell-derived hematopoiesis. *EMBO Mol Med*. 2015;7(11):1388-402.
14. Hernandez-Barrientos D, Pelayo R, Mayani H. The Hematopoietic Microenvironment: A Network of Niches for the Development of All Blood Cell Lineages. *J Leukoc Biol*. 2023;114(5):404-420.
15. Hurwitz SN, Jung SK, Kurre P. Hematopoietic stem and progenitor cell signaling in the niche. *Leukemia*. 2020;34(12):3136-48.

References

1. Nimer SD. Myelodysplastic syndromes. *Blood*. 2008;111(10):4841-51.
2. Gondek LP, DeZern AE. Assessing clonal haematopoiesis: clinical burdens and benefits of diagnosing myelodysplastic syndrome precursor states. *Lancet Haematol*. 2020;7(1):e73-e81.
3. Zhao M, Li L. Regulation of hematopoietic stem cells in the niche. *Sci China Life Sci*. 2015;58(12):1209-15.
4. Bilko D, Pakharenko M. Peculiarities of functioning of hematopoietic progenitor cells of bone marrow of patients with myelodysplastic syndrome in culture *in vitro* and in cell diffusion chambers *in vivo*. *NRPBE*. 2022;5:33-8. doi:10.18523/2617-4529.2022.5.33-38. Ukrainian.
5. Flores-Figueroa E, Gutierrez-Espindola G, Guerrero-Rivera S, Pizzuto-Chavez J, Mayani H. Hematopoietic progenitor cells from patients with myelodysplastic syndromes: *in vitro* colony growth and long-term proliferation. *Leukemia research*. 1999 Apr;23:385-94.
6. List AF, Dewald G, Bennett JM, Giagounidis A, Raza A, Feldman E, et al. Lenalidomide in the myelodysplastic syndrome with chromosome 5q deletion. *New England Journal of Medicine*. 2005;352(6):549-57.
7. Gerke MB, Christodoulou I, Karantanos T. Definitions, Biology, and Current Therapeutic Landscape of Myelodysplastic/Myeloproliferative Neoplasms. *Cancers*. 2023;15(15):3815.
8. Vardiman JW, Thiele J, Arber DA, Brunning RD, Borowitz MJ, Porwit A, et al. The 2008 revision of the WHO classification of myeloid neoplasms and acute leukemia: rationale and important changes. *Blood*. 2008;114(5):937-51.

9. Jahandideh B, Derakhshani M, Abbaszadeh H, Akbar Movassaghpour A, Mehdizadeh A, Talebi M, Yousefi M. The pro-inflammatory cytokines effects on mobilization, self-renewal and differentiation of hematopoietic stem cells. *Hum Immunol.* 2020;81(5):206-17.
10. Tefferi A, Thiele J, Vardiman JW. The 2008 World Health Organization classification system for myeloproliferative neoplasms. *Cancer.* 2009;115(17):3842-7.
11. Pakharenko M, Bilko D, Tretiak N, Starodub H, Lagodniuk I, Bilko N. Functional activity of hematopoietic progenitor cells in myelodysplastic syndrome *in vitro*. *NRPBE.* 2020;3:48-52. doi:10.18523/2617-4529.2020.3.48-52. Ukrainian.
12. Bilko NM. Investigation of Hematopoiesis under Normal Conditions and in Case of Blood Diseases Using Tissue Culture *in vivo* [PhD Thesis]. Kyiv; 1982. Ukrainian.
13. Ackermann M, Liebhaber S, Klusmann J, Lachmann N. Lost in translation: pluripotent stem cell-derived hematopoiesis. *EMBO Mol Med.* 2015;7(11):1388-402.
14. Hernandez-Barrientos D, Pelayo R, Mayani H. The Hematopoietic Microenvironment: A Network of Niches for the Development of All Blood Cell Lineages. *J Leukoc Biol.* 2023; 114(5):404-420.
15. Hurwitz SN, Jung SK, Kurre P. Hematopoietic stem and progenitor cell signaling in the niche. *Leukemia.* 2020;34(12):3136-48.

N. Bilko¹, H. Starodub², N. Tretiak², N. Goryainova²,

M. Pakharenko¹, I. Russu¹, D. Bilko¹

¹ National University of Kyiv-Mohyla Academy (NaUKMA), Kyiv, Ukraine

² State Institution “National Research Center for Radiation Medicine of National Academy of Sciences of Ukraine” (NRCRM), Kyiv, Ukraine

FEATURES OF HEMATOPOIETIC PROGENITOR CELL FUNCTIONING IN PATIENTS WITH MYELODYSPLASTIC SYNDROME TREATED WITH LENALIDOMIDE

Abstract

The stem cell pool is the primary site of malignant transformation, so studying progenitor cells in hematopoietic disorders is one of the most important ways to uncover the pathogenesis of malignant hemoblastoses. Myelodysplastic syndrome (MDS) is a hematologic disease characterized by genomic instability and heterogeneity. Treatment of MDS in the early stages of the disease (RAEB I) is limited to immunomodulators, one of which is lenalidomide. The drug is known to inhibit the proliferation of malignant cells by suppressing abnormal cloning and promoting apoptosis of Del(5q) cells. However, the extent of lenalidomide's effect on the hematopoietic system in MDS has not yet been fully established. It is believed to enhance cellular immunity mediated by T cells and natural killer cells, and to inhibit the secretion of pro-inflammatory cytokines. The purpose of this study was to investigate the specific features of hematopoietic progenitor cell functioning under the influence of the immunomodulatory drug lenalidomide in patients with RAEB I. The study evaluated peripheral blood parameters and colony- and cluster-forming abilities of bone marrow hematopoietic progenitor cells cultured in semi-liquid agar. The study showed that the action of lenalidomide extends not only to the immune system, but also affects the closest descendants of the hematopoietic stem cells — hematopoietic progenitor cells — stimulating colony formation in 24% of bone marrow cultures and promoting the proliferation of all three blood lineages in the peripheral blood. These findings highlight the need to continue exploring therapeutic approaches for MDS that target early stages of hematopoiesis.

Keywords: hematopoietic stem cells, hematopoietic progenitor cells, malignant transformation, genomic instability, myelodysplastic syndrome, immunomodulators, cell culture.

ARTICLE HISTORY. Submitted 12 June 2025. Accepted 18 June 2025. Published 18 August 2025

Відомості про авторів Authors Information

Білько Надія Михайлівна – доктор медичних наук, професор кафедри лабораторної діагностики біологічних систем Національного університету «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА), Київ, Україна

Bilko Nadiia – Doctor of Sciences in Medicine, Professor, Professor at the Department of Laboratory Diagnostics of Biological Systems, National University of Kyiv-Mohyla Academy (NaUKMA), Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-3213-0032>

nbilko@ukma.edu.ua

Стародуб Галина Сергіївна – кандидат медичних наук, лікар-гематолог, старший науковий співробітник відділення захворювань системи крові ДУ «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», Київ, Україна

Starodub Halyna – PhD in Medicine, Hematologist, Senior Research Associate at the Department of Blood System Diseases of State Institution “National Research Center for Radiation Medicine of National Academy of Sciences of Ukraine” (NRCRM), Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-8402-2156>

gal.starodub@gmail.com

Третяк Наталія Миколаївна – доктор медичних наук, професор, головний науковий співробітник відділення захворювань системи крові ДУ «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», Київ, Україна

Tretiak Nataliia – Doctor Science in Medicine, Professor, Chief Researcher at the Department of Blood System Diseases of State Institution “National Research Center for Radiation Medicine of National Academy of Sciences of Ukraine” (NRCRM), Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0009-0005-8991-892X>

igt2@ukr.net

Горяїнова Надія Валеріївна – доктор медичних наук, старший науковий співробітник, завідувачка відділення захворювань системи крові ДУ «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», Київ, Україна

Goryainova Nadiia – Doctor of Science in Medicine, Senior Research Associate, Head of the Department of Blood System Diseases of State Institution “National Research Center for Radiation Medicine of National Academy of Sciences of Ukraine” (NRCRM), Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-2123-4140>

igt2@ukr.net

Пахаренко Маргарита Вікторівна – PhD, старший викладач кафедри лабораторної діагностики біологічних систем Національного університету «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА), Київ, Україна

Pakharenko Marharyta – PhD in Biology, Senior Lecturer of the Department of Laboratory Diagnostics of Biological Systems of National University of Kyiv-Mohyla Academy (NaUKMA), Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-2718-5116>

m.pakharenko@ukma.edu.ua

Руссу Ірина Зіновіївна – кандидат біологічних наук, завідувачка кафедри лабораторної діагностики біологічних систем Національного університету «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА), Київ, Україна

Russu Iryna – Candidate of Biological Sciences, Head of the Department of Laboratory Diagnostics of Biological Systems of National University of Kyiv-Mohyla Academy (NaUKMA), Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-9676-2859>

iryna.russu@ukma.edu.ua

Білько Денис Іванович – кандидат біологічних наук, доцент кафедри лабораторної діагностики біологічних систем Національного університету «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА), Київ, Україна

Bilko Denys – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor at the Department of Laboratory Diagnostics of Biological Systems, National University of Kyiv-Mohyla Academy (NaUKMA), Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-6801-401X>

denys.bilko@ukma.edu.ua



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

DOI: 10.18523/2617-4529.2025.8.10-18

UDC 577+616-006

A. Bratyshchenko¹, V. Haviaz², A. Honcharenko², E. Stakhovsky³,
O. Kononenko³, I. Rosohatska², T. Pasichnyk¹, O. Mankovska^{1,2}

¹ National University of Kyiv-Mohyla Academy (NaUKMA), Kyiv, Ukraine

² Institute of Molecular Biology and Genetics of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine

³ National Cancer Institute of the Ministry of Health of Ukraine, Kyiv, Ukraine

LONG NON-CODING RNA SNHG1 AS A DIAGNOSTIC AND PROGNOSTIC MARKER OF BLADDER CANCER

Abstract

Bladder cancer (BC) is one of the most prevalent cancers globally, and it ranks as the fifth most common malignancy among men in Ukraine. Modern diagnostic tools for bladder cancer have significant limitations: some of them are overly invasive and others lack sufficient sensitivity and specificity. Currently, molecular markers are becoming a promising tool for identification of oncogenic processes. Among epigenetic mechanisms involved in malignant cell transformation, long non-coding RNA (lncRNA)s are of particular interest, as they can act as either oncogenes or tumor suppressors. Available studies suggest that the lncRNA SNHG1, which is currently understudied, promotes tumor proliferation and inhibits apoptosis in malignant cells. The aim of the current study was to analyze changes in the relative expression of SNHG1 in tumor tissues and its levels in cell-free urine of bladder cancer patients, and to evaluate its diagnostic and prognostic value. There was a statistically significant increase in the SNHG1 gene expression level in tumor tissues compared to conditionally normal tissues. Also, a significant decrease in relative levels of SNHG1 transcripts was observed in urine of BC patients compared to healthy individuals. According to the analysis of ROC curves analysis, the chosen marker can identify bladder cancer with high sensitivity and specificity. A positive correlation was also discovered between SNHG1 expression level in tumor tissue and cancer stage. The obtained data support the relevance of further study on lncRNA SNHG1 as a promising diagnostic and prognostic marker of bladder cancer.

Keywords: bladder cancer, epigenetic biomarkers, lncRNA, SNHG1, tumor tissues, liquid biopsy.

Introduction

Bladder cancer (BC) is one of the most prevalent malignancies worldwide. According to the World Health Organization, in 2022 bladder cancer ranked 9th in the world in terms of incidence (614,298 cases) and 13th in terms of cancer-related mortality (220,596 deaths). In Ukraine, bladder cancer is the fifth most common oncological disease among men. Globally, more than three-quarters of bladder cancer cases occur in males [1]. The majority of BC cases are associated with a family history of cancer as well as external risk factors, including tobacco

smoking, occupational exposure (such as work in the aluminum and rubber production or with dyes and dye intermediates), ionizing radiation, and chronic *Schistosoma haematobium* infection [2].

The most common type of bladder cancer is urothelial carcinoma, which accounts for over 90% of cases. The remaining 10% include squamous cell carcinoma and adenocarcinoma [3]. In many patients, bladder cancer is detected at an early, non-muscle-invasive stage, when the cancer has not yet spread into the muscular layer of the bladder wall. These tumors typically present with *FGFR3* gene

mutations and chromosome 9 aberrations. On the other hand, flat carcinomas *in situ* often progress to muscle-invasive type, and are commonly associated with *TP53* mutations, chromosome 9 deletions, and DNA hypermethylation [4].

The most widely used diagnostic tools for bladder cancer are white-light cystoscopy and urine cytology. However, both methods present significant limitations, including low sensitivity and specificity [5]. Regular monitoring of the disease requires non-invasive diagnostic methods that can be safely and frequently repeated. The increasing amount of research on the molecular mechanisms of bladder cancer offers opportunities for frequent, non-invasive check-ups, contributing to more accurate and effective diagnostics. One of the promising new approaches is liquid biopsy – the analysis of biological fluids, particularly blood and urine, for molecular indicators of different pathologies [6].

Epigenetic mechanisms, including DNA methylation and non-coding RNAs, are known to be involved in gene expression regulation. Thus, malignant transformation may result not only from the presence of mutant alleles of certain genes, but also from dysregulation of normal (wild-type) alleles due to abnormalities in epigenetic regulatory mechanisms. In late-stage, high-grade muscle-invasive tumors, serious alterations in DNA methylation are observed, along with changes in the activity of non-coding RNAs [7]. Currently, epigenomic modifications are being investigated both as potential biomarkers and as therapeutic targets [8]. For example, data on aberrant promoter methylation patterns allow the development of diagnostic panels that include genes encoding growth factors (*GDF15*), intermediate filament proteins (*VIM*), transmembrane proteins (*TMEFF2*), transferases (*MYO3A*), and carbonic anhydrases (*CA10*) [9–11].

More recently, there has been increasing evidence of the crucial role of long non-coding RNAs (lncRNAs) in oncogenesis. Dysregulation of lncRNA has been associated with cell migration, invasion, metastasis, and transcriptional abnormalities [12]. Several lncRNAs, such as *GAS6-AS2*, *PTENP1* and *H19*, participate in the epithelial-mesenchymal transition and may serve as potential diagnostic and prognostic biomarkers [13].

Some lncRNAs are suggested to function as tumor suppressors. For instance, *GAS5* has been shown to inhibit tumorigenesis by regulating the Wnt/ β -catenin signaling pathway. In bladder cancer tissues, *GAS5* silencing has been reported, which correlates with tumor stage, grade, and metastasis [14].

Our previous research on epigenetic markers of cancer investigated alterations in gene methylation

and lncRNA expression during oncogenesis. The goal was to assess the potential of these changes as biomarkers for bladder cancer. A statistically significant increase in the expression of the *RASSF1A* splice variant of the protein-coding gene *RASSF1* was detected in tumor tissues, while a significant decrease in the relative quantity of both *RASSF1A* and its antisense lncRNA *ANRASSF1* transcripts was observed in urine samples [18]. These findings highlight the need for further identification of lncRNAs with altered expression in oncogenesis to develop diagnostic panels that possess high sensitivity and specificity.

SNHG1 gene (Small Nucleolar RNA Host Gene 1) is located on chromosome 11 and belongs to the *SNHG* gene family, which encodes lncRNAs involved in essential cellular processes. *SNHG1* has been identified as a key regulatory RNA in different diseases. For example, a positive feedback loop between *SNHG1* and the transcription factor c-Myc promotes cardiac muscle regeneration after myocardial infarction, while in epilepsy, *SNHG1* modulation of the miR-181a/*BCL-2* axis delays disease progression. Dysregulated *SNHG1* expression has been reported in multiple cancer types, including breast, prostate, gastric, colorectal cancer, osteosarcoma, and acute myeloid leukemia [15].

In bladder cancer, *SNHG1* promotes tumor cell proliferation and inhibits apoptosis. Significantly elevated expression levels of *SNHG1* were observed both in patient tissue samples and *in vitro* cell cultures. High *SNHG1* expression is associated with poor BC prognosis [16,17]. Even though *SNHG1* expression has been studied in tissue samples, its presence and quantity in urine of bladder cancer patients compared to healthy individuals have not yet been investigated. Analysis of *SNHG1* levels in urine represents a non-invasive diagnostic approach and offers great potential for improving bladder cancer detection and monitoring disease progression. Thus, the aim of this study was to identify changes in relative expression of *SNHG1* in tumor tissues and relative levels of its transcript in urine samples of BC patients and evaluate the potential of *SNHG1* as a molecular marker of bladder cancer.

Materials and methods

All the samples and patient clinical data were obtained at the National Cancer Institute of the Ministry of Health of Ukraine between November 2018 and July 2022. To obtain compelling results, it was decided to collect both tissue and urine samples. Tumor tissues as well as paired conditionally normal tissues were obtained during surgeries of patients previously diagnosed with bladder cancer.

Urine samples of the patients were collected immediately before surgery. Urine of healthy individuals was used as control. There is a partial overlap between tissue and urine samples, since we were able to obtain both sample types from some patients and only one of those from others.

Table 1

Sizes of the samples used in the study

Sample type	Sample count
Tumor tissues	19
Conditionally normal tissues	19
Urine of patients	24
Urine of healthy individuals	15

Sizes of the samples used in the study

All samples were collected with informed consent following the Declaration of Helsinki and guidelines issued by the National Cancer Institute of Ukraine and the Ethics Committee of Institute of Molecular Biology and Genetics of the National Academy of Sciences of Ukraine. Patient clinical data used in correlation analysis is presented in an encrypted form.

Tissue samples obtained during surgery were immediately frozen in liquid nitrogen and stored at -80 °C until the next step of the research. Urine was stored in sterile containers at 2–8 °C. Before RNA extraction, tissue samples were homogenized using additional liquid nitrogen and a mortar and pestle. Urine samples were centrifuged for 15 min at 4 °C and 1500 g to precipitate epithelial cells. After that, supernatant was transferred into clean tubes to obtain cell-free urine. RNA was extracted using TRIzol reagent (ThermoFisher Scientific, USA) according to the manufacturer's protocol. To evaluate RNA concentration and purity, received samples were analyzed with NanoDrop 2000 (Thermo Fisher Scientific, USA).

cDNA synthesis on RNA template was performed with Maxima First Strand cDNA Synthesis Kit (Thermo Fisher Scientific, USA). Afterwards, DNA samples were amplified during qPCR using HOT FIREPol EvaGreen qPCR Mix (Solis Bio-Dyne, Estonia) according to manufacturer's protocol and a CFX96 Real-Time PCR Detection System with CFX Manager software (BioRad, USA). Primer sequences for the reaction were:

F. *ACTB* 5'TGACGTGGACATCCGCAAAG3'

R. *ACTB* 5'CTGGAAGGTGGACAGCGAGG3'

F. *SNHG1* 5'TAACCTGCTTGGCTCAAAGGG3'

R. *SNHG1* 5'CAGCCTGGAGTGAACACAGA3'

Conditions for qPCR were as follows: initial denaturation at 95 °C for 12 min; 41 cycle of denaturation at 95 °C for 15 sec, annealing at 60 °C for

20 sec, extension at 70 °C for 15 sec; final extension at 65 °C for 5 sec; finishing step at 95 °C for 30 sec. A plate read was performed after every amplification cycle.

qPCR products were separated in 0,8% agarose gel to confirm amplification specificity and primer quality. From the raw data obtained from qPCR, *SNHG1* relative expression levels were calculated. *Actin beta* was used as a reference gene, as its expression level doesn't change during oncogenesis. Calculations were carried out according to the formula

$$RQ = 2^{-\Delta Ct},$$

RQ – relative quantity of amplification product; $\Delta Ct = Ct_{ACTB} - Ct_{SNHG1}$; *Ct* – number of amplification cycles needed for reaching fluorescence threshold.

Statistical analysis was performed in GraphPad Prism 8.4.3 application (<https://www.graphpad.com/>). *SNHG1* relative quantity data was checked for outliers using an interquartile range method. To check the samples for normality, Shapiro-Wilk test was used (appropriate for sample count ≤ 30). Since tissue samples showed a Gaussian distribution, we used a parametric test – Student's *t*-test – for a pairwise comparison of *SNHG1* relative expression levels in tumor and conditionally normal tissues. A non-parametric Mann–Whitney test was used to compare data on *SNHG1* relative quantities in urine of bladder cancer patients and control group of healthy individuals.

The diagnostic value of *SNHG1* as BC biomarker was assessed with ROC curve method [19,20]. Correlation analysis of the gene relative expression levels and patients' clinical data was performed using Spearman rank correlation method. Finally, we used ANOVA to compare expression levels of patients grouped by cancer stage.

Results and discussion

We used qPCR to assess the relative quantity of *SNHG1* transcripts in biological material obtained from BC patients and healthy individuals via real-time PCR. The primary data represent the cycle threshold values, i.e. the number of amplification cycles needed to reach the fluorescence detection threshold. These *Ct* values were used to calculate the relative expression level of *SNHG1* in tissue and urine samples, using the *β-actin* gene as the reference gene.

To exclude extremely high or low values that may have resulted from experimental error, outlier detection was performed using the interquartile range method. Outliers identified among tissue samples were removed from the dataset together with the paired value from the parallel group to

Table 2

Sample sizes and normality test results for tissue and urine

Sample type	Sample count	Shapiro-Wilk test statistic	Test result
SNHG1 T	13	0,9436	*
SNHG1 N	13	0,9577	*
SNHG1 C	16	0,4987	**
SNHG1 H	5	0,8372	*

Notes: T – tumor tissue; N – conditionally normal tissue; C – urine of BC patients; H – urine of healthy individuals; * – sample showing Gaussian distribution; ** – sample showing non-Gaussian distribution.

preserve paired comparison. After outlier removal, the resulting datasets were tested for normality using Shapiro-Wilk test. The number of remaining samples in each group and the results of the normality test are presented in Table 2.

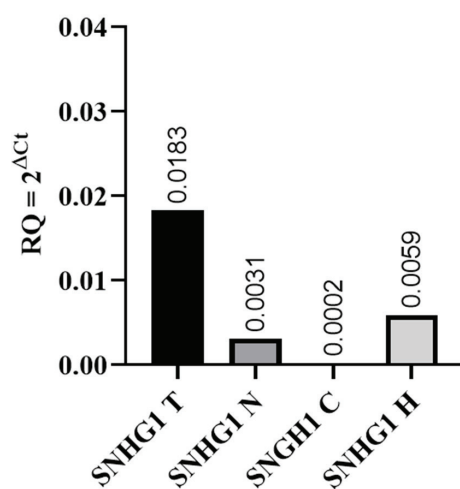


Fig. 1. Relative *SNHG1* gene product quantity in tissues and urine of diseased and healthy individuals. RQ – relative quantity of *SNHG1* transcripts; T – tumor tissue; N – conditionally normal tissue; C – urine of BC patients; H – urine of healthy individuals

The graphical representation of mean *SNHG1* expression levels in the four sample groups (Fig. 1) shows visible differences between the studied groups, calling for statistical comparison. Since tumor tissues and conditionally normal tissues were collected in pairs from the same patients, a parametric paired Student's *t*-test was used to assess differences in central tendency. The calculated *t*-value (4.363) exceeded the critical value for the 0.01 significance level (3.05). Therefore, a statistically significant difference in *SNHG1* expression levels was observed between tumor and conditionally normal tissue samples.

In the analysis of *SNHG1* levels in urine, samples from patients with bladder cancer were compared to those from a control group of healthy individuals. As the data distribution in the patient group showed a non-Gaussian distribution,

a non-parametric test (Mann–Whitney *U* test) was used for comparison. The calculated *U*-value was 0, which is lower than the critical values for significance levels 0.05 (19) and 0.01 (12). This indicates a statistically significant difference in *SNHG1* transcript levels in the urine of patients compared to healthy individuals.

Thus, a statistically significant increase in *SNHG1* gene expression was observed in tumor tissues compared to conditionally normal tissues. These findings are consistent with previously reported data showing elevated *SNHG1* expression levels in bladder cancer tissues both *in vitro* and *in vivo* [16,17]. The upregulation of *SNHG1* in tumor tissues compared to adjacent normal tissues in BC patients suggests that *SNHG1* may possess a direct role in carcinogenesis. Therefore, further investigation of its expression levels in biological materials appears promising for its potential use as a biomarker of bladder cancer.

In the urine of BC patients, a statistically significant decrease in the relative quantity of *SNHG1* was detected compared to urine samples from healthy individuals. For now, no research exists on *SNHG1* transcript levels in the urine of bladder cancer patients. Direct comparison of *SNHG1* levels in different biological materials is not appropriate as the urine and tissue sample sets only partially overlap. To establish a meaningful correlation between *SNHG1* levels in tissues and urine, it is necessary to conduct a parallel study where both types of samples are collected from the same individuals.

To assess the ability of the marker gene to discriminate effectively between BC patients and healthy individuals, an ROC (Receiver Operating Characteristic) curve analysis was performed. This method evaluates the ability of the marker to distinguish between diseased and healthy groups by analyzing the balance between false positive and false negative results. The primary indicator of a marker's diagnostic performance is the AUC (Area Under Curve) value. An AUC value close to 1 indicates a high predictive ability, whereas a value close to 0.5 suggests that the marker performs no better than random guessing [19,20].

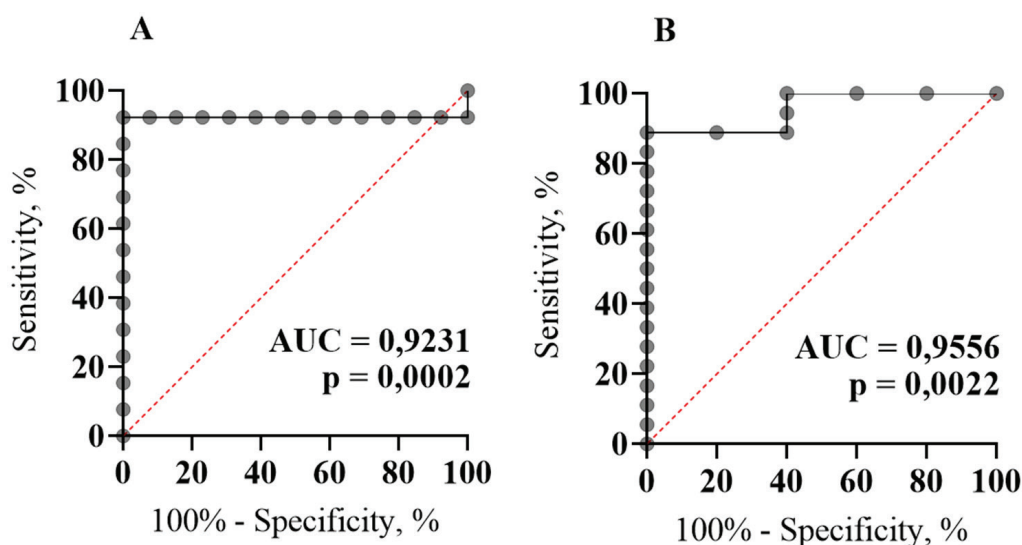


Fig. 2. ROC curves of *SNHG1* transcript quantities in tissue (A) and urine (B) samples

Based on the data on the *SNHG1* relative expression levels in tissue and urine samples, sensitivity and specificity were calculated for various sensitivity threshold levels. Using these calculations, ROC curves were generated for tissue and urine samples. The AUC values and the significance levels of the results are presented in Figure 2.

The resulting graphs illustrate how the sensitivity and specificity of the marker change depending on the given sensitivity threshold. Both remain high for most threshold values, as the AUC value is quite large. This suggests that the marker is highly effective in discriminating between healthy individuals and BC patients. These findings further support the hypothesis that dysregulation of *SNHG1* is involved in the oncogenic processes of bladder cancer.

The next step in evaluating the biomarker potential of *SNHG1* was to investigate whether its expression levels change with disease progression. At the National Cancer Institute, patient clinical data were obtained, such as age, cancer stage, tumor grade, and previous gemcitabine–cisplatin chemotherapy (Table 3). Analyzing these data may help in determining whether the course of the disease or the applied treatment affects *SNHG1* expression, and whether expression levels are associated with patient age. If *SNHG1* levels in biological materials change over time with disease progression, this marker could be used not only for diagnosis but also for prognosis and monitoring of the patient's condition.

To assess the potential association between *SNHG1* transcript levels in tissue and urine samples and the clinical parameters of patients, a correlation analysis was performed. Spearman's rank

correlation coefficient (r_s) was calculated, as it is suitable for detecting non-linear relations and can be applied to small sample sizes, even when the distribution of values deviates from normality (as in the case with *SNHG1* transcript levels in the urine of cancer patients) (Table 4).

The analysis revealed a correlation between *SNHG1* gene expression levels in tumor tissues and the stage of bladder cancer. This finding is of particular interest, as this relationship possesses the potential to predict disease progression by monitoring changes in the expression level of the marker gene. To determine whether the cancer stage affects *SNHG1* expression levels, a one-way ANOVA (analysis of variance) was performed. However, no statistically significant difference was observed between patient groups ($F = 1.285$). A possible explanation may be that *SNHG1* expression levels decrease not abruptly but rather gradually over the course of the disease. Thus, we did not find convincing evidence that *SNHG1* expression levels can be used to determine the stage of bladder cancer in patients. Nonetheless, there is some potential for further research to assess whether changes in this parameter with time could be utilized to monitor disease dynamics.

Conclusions

The expression of the gene of the long non-coding RNA *SNHG1* is significantly elevated in tumor tissues compared to conditionally normal tissues. This result is expected given the carcinogenic role of *SNHG1*, which promotes tumor proliferation and growth. In urine samples from patients with bladder cancer, *SNHG1* concentration was significantly

decreased compared to the urine of healthy individuals. So far, no studies have been published that analyze *SNHG1* transcript quantity in the urine of bladder cancer patients compared to healthy controls. Therefore, this topic remains open for further investigation.

SNHG1 relative quantities in both types of biological material have shown to be sensitive diagnostic indicators and are effective in distinguishing BC patients from healthy individuals. Additionally, a positive correlation was observed between *SNHG1* gene expression in tumor tissues and cancer stage. Although no statistically significant differences

were found between groups of patients at different disease stages, this may indicate that *SNHG1* expression increases gradually and non-linearly during disease progression. Thus, further research is needed to explore the potential of this marker as a prognostic indicator for tumor progression and patient monitoring.

This work was supported by the Simons Support Grant (#1290589, [Oksana Mankovska]) and EIRENE Cooperation Grant, provided by Max Planck Society, Germany.

Table 3

Numbers of patients with various clinical parameters

Groups by clinical parameter	Tissue	Urine
Clinical parameter – age		
35-60	5	10
>60	6	5
No data	2	1
Clinical parameter – cancer stage		
I	1	0
II	4	4
III	4	9
IV	3	3
No data	1	0
Clinical parameter – cancer grade		
G1	1	2
G2	8	7
G3	3	6
Gx/no data	1	1
Clinical parameter – gemcitabine–cisplatin chemotherapy		
Was performed	4	11
Was not performed	6	4
No data	3	1

Table 4

Correlation between *SNHG1* transcript levels and patient clinical data

Sample type	Clinical parameter	r_s	Statistical significance
Tissue	Age	-0,1139	$p > 0.05$
	Cancer stage	0,5955	$p < 0.05$
	Tumor grade	-0,0546	$p > 0.05$
	Chemotherapy	0,4975	$p > 0.05$
Urine	Age	0,0991	$p > 0.05$
	Cancer stage	-0,0542	$p > 0.05$
	Tumor grade	0,0059	$p > 0.05$
	Chemotherapy	-0,1759	$p > 0.05$

References

1. Ferlay J, Ervik M, Lam F, Laversanne M, Colombet M, Mery L, Piñeros M, Znaor A, Soerjomataram I, Bray F. Global Cancer Observatory: Cancer Today [Internet]. Lyon: International Agency for Research on Cancer; 2024 [cited 2025 Jun 5]. Available from: <https://gco.iarc.who.int/today>
2. Jubber I, Ong S, Bukavina L, Black PC, Compérat E, Kamat AM, et al. Epidemiology of Bladder Cancer in 2023: A Systematic Review of Risk Factors. *European Urology*. 2023 May 16;84(2):176-90. doi:10.1016/j.eururo.2023.03.029
3. O'Rourke CJ, Knabben V, Bolton E, Moran D, Lynch T, Hollywood D, et al. Manipulating the epigenome for the treatment of urological malignancies. *Pharmacology & Therapeutics*. 2013 Jan 24;138(2):185-96. doi:10.1016/j.pharmthera.2013.01.007
4. Wolff EM, Chihara Y, Pan F, Weisenberger DJ, Siegmund KD, Sugano K, et al. Unique DNA methylation patterns distinguish noninvasive and invasive urothelial cancers and establish an epigenetic field defect in premalignant tissue. *Cancer Research*. 2010 Sep 15;70(20):8169-78. doi:10.1158/0008-5472.CAN-10-1335
5. Schulz A, Loloi J, Martina LP, Sankin A. The development of Non-Invasive Diagnostic Tools in Bladder Cancer. *OncoTargets and Therapy*. 2022 May 1;15:497-507. doi:10.2147/OTT.S28389
6. Matuszczak M, Kiljańczyk A, Salagierski M. A Liquid Biopsy in Bladder Cancer—The Current landscape in Urinary Biomarkers. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022 Aug 2;23(15):8597. doi:10.3390/ijms23158597
7. Porten SP. Epigenetic alterations in bladder cancer. *Current Urology Reports*. 2018 Oct 24;19(12). doi:10.1007/s11934-018-0861-5
8. Harb-de la Rosa A, Acker M, Kumar RA, Manoharan M. Epigenetics application in the diagnosis and treatment of bladder cancer. *Can J Urol*. 2015 Oct;22(5):7947-51.
9. Chung W, Bondaruk J, Jelinek J, Lotan Y, Liang S, Czerniak B, Issa JP. Detection of bladder cancer using novel DNA methylation biomarkers in urine sediments. *Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention*. 2011 Jul 1;20(7):1483-91. doi:10.1158/1055-9965.EPI-11-0067
10. Costa VL, Henrique R, Danielsen SA, Duarte-Pereira S, Eknaes M, Skotheim RI, et al. Three Epigenetic Biomarkers, GDF15, TMEFF2, and VIM, Accurately Predict Bladder Cancer from DNA-Based Analyses of Urine Samples. *Clin Cancer Res*. 2010 Oct 26;16(23):5842-51. doi:10.1158/1078-0432.CCR-10-1312
11. Mankovska O, Skrypnikova O, Panasenko G, Kononenko O, Vikarchuk M, Stakhovskyy E, Kashuba V. Detection of methylation of *VIM*, *TMEFF2* and *GDF15* in the urine of patients with bladder cancer in Ukrainian population. *NRPBE [Internet]* 2016;184:23-9. Available from: <https://ekmair.ukma.edu.ua/server/api/core/bitstreams/8959a261-a259-45ea-a584-126888fa949e/content>. Ukrainian.
12. Thin KZ, Tu JC, Raveendran S. Long non-coding SNHG1 in cancer. *Clinica Chimica Acta*. 2019 Mar 6;494:38-47. doi:10.1016/j.cca.2019.03.002
13. Cao Y, Tian T, Li W, Xu H, Zhan C, Wu X, et al. Long non-coding RNA in bladder cancer. *Clinica Chimica Acta*. 2020 Jan 12;503:113-21. doi:10.1016/j.cca.2020.01.008
14. Zhang Z, Liu T, Cheng C, Wang J, Wang C, Huang H, et al. LncRNA GASS regulates the Wnt/ β -catenin pathway through the miR-18a-5p/AXIN2/GSK3 β axis to inhibit the proliferation and migration of bladder cancer cells. *Carcinogenesis*. 2022 Nov 4;43(12):1176-89. doi:10.1093/carcin/bgac087
15. Zeng H, Zhou S, Cai W, Kang M, Zhang P. LncRNA SNHG1: role in tumorigenesis of multiple human cancers. *Cancer Cell International*. 2023 Sep 8;23(1). doi:10.1186/s12935-023-03018-1
16. Cai H, Xu H, Lu H, Xu W, Liu H, Wang X, et al. LncRNA SNHG1 facilitates tumor proliferation and represses apoptosis by regulating PPAR γ ubiquitination in bladder cancer. *Cancers*. 2022 Sep 28;14(19):4740. doi:10.3390/cancers14194740
17. Du Q, Chen J. SNHG1 promotes proliferation, migration and invasion of bladder cancer cells via the PI3K/AKT signaling pathway. *Exp Ther Med*. 2020 Sep 18;20(5):1. doi:10.3892/etm.2020.9238
18. Haviar VO, Bratyschenko AS, Skrypnikova OS, Kariaka SV, Honcharenko AI, Todoryshyn DP, et al. Non-invasive biomarkers for bladder cancer: a study on lncRNAs and DNA methylation. *Biopolym. Cell*. 2025 Apr 14;41(1):52-62. <http://dx.doi.org/10.7124/bc.000B0E>
19. Søreide K. Receiver-operating characteristic curve analysis in diagnostic, prognostic and predictive biomarker research. *Journal of Clinical Pathology*. 2008 Sep 25;62(1):1-5. doi:10.1136/jcp.2008.061010
20. Obuchowski NA, Bullen JA. Receiver operating characteristic (ROC) curves: review of methods with applications in diagnostic medicine. *Phys. Med. Biol*. 2018 Mar 7;63(7):07TR01. doi:10.1088/1361-6560/aab4b1

Братищенко А. С.¹, Гав'яз В. О.², Гончаренко А. І.², Стаховський Е. О.³,
Кононенко О. А.³, Росохацька І. В.², Пасічник Т. В.¹, Маньковська О. С.^{1,2}

¹ Національний університет «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА), Київ, Україна

² Інститут молекулярної біології та генетики НАН України, Київ, Україна

³ Національний інститут раку МОЗ України, Київ, Україна

ДОВГА НЕКОДУВАЛЬНА РНК SNHG1 ЯК ДІАГНОСТИЧНИЙ ТА ПРОГНОСТИЧНИЙ МАРКЕР РАКУ СЕЧОВОГО МІХУРА

Рак сечового міхура є одним із найпоширеніших онкологічних захворювань у світі. Сучасні методи діагностики раку сечового міхура мають суттєві обмеження. Значний інтерес викликають новітні методи діагностики за допомогою молекулярних маркерів. З-поміж інших епігенетичних механізмів багато довгих некодувальних РНК мають проонкогенні або, навпаки, онкосупресорні властивості. Згідно з дослідженнями, днРНК SNHG1 здатна стимулювати розвиток пухлин та проліферацію злоякісних клітин, водночас пригнічуючи їх апоптоз. **Мета роботи** – оцінити зміни у відносних рівнях експресії днРНК SNHG1 у тканинах пухлин і сечі пацієнтів із раком сечового міхура, а також

визначити її потенціал як діагностичного та прогностичного маркера захворювання. **Методи.** РНК із зразків тканин і сечі екстрагували за допомогою реагенту TRIzol та очищали. На матриці РНК синтезували кДНК та ампліфікували за допомогою ПЛР у реальному часі. Відносні рівні експресії розраховували з первинних даних за формулою $2^{-\Delta C_t}$. Зміни рівнів експресії SNHG1 у тканинах пухлин порівняно з умовно здоровими тканинами оцінювали за допомогою t-критерію Стьюдента для попарних порівнянь. Зміни концентрації SNHG1 у сечі хворих порівняно зі здоровими особами досліджували за допомогою критерію Манна – Уїтні. Діагностичну здатність обраної днРНК аналізували методом ROC-кривих. Кореляційний аналіз проводили за допомогою рангового коефіцієнта Спірмана, а різницю в рівнях експресії між групами пацієнтів досліджували методом однофакторного дисперсійного аналізу. **Результати.** Виявили статистично значуще підвищення рівня експресії гена SNHG1 у тканинах пухлин порівняно з умовно нормальними тканинами. У сечі пацієнтів із раком сечового міхура спостерігали значне зниження концентрації днРНК SNHG1 порівняно з сечею здорових осіб. ROC-криві для тканин і сечі демонстрували високу діагностичну здатність обраного маркера. Також є позитивна кореляція між рівнем експресії гена SNHG1 у тканинах і стадією раку. Статистично значущих відмінностей у рівнях експресії SNHG1 між групами пацієнтів на різних стадіях захворювання не виявили. **Висновки.** Відносні рівні транскриптів SNHG1 у тканинах і сечі змінюються під час процесів онкогенезу, що свідчить про перспективність подальших досліджень гена SNHG1 як кандидата в маркери раку сечового міхура. Обраний маркер має високу чутливість і специфічність. Зв'язок між рівнем експресії SNHG1 у тканинах і стадією раку також може мати значення для прогнозу захворювання. Для підтвердження отриманих результатів і визначення діагностичної та прогностичної цінності SNHG1 при раку сечового міхура потрібні подальші дослідження.

Ключові слова: рак сечового міхура, епігенетичні біомаркери, днРНК, SNHG1, тканини пухлин, рідинні біопсії.

ARTICLE HISTORY. Submitted 4 June 2025. Accepted 19 June 2025. Published 18 August 2025

Відомості про авторів Authors Information

Братищенко Анастасія Сергіївна – студентка бакалаврської програми «Біологія та біотехнологія» кафедри біології Національного університету «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА), Київ, Україна

Bratyshchenko Anastasiia – Student of the Bachelor's Program "Biology and Biotechnology" of the Biology Department, National University of Kyiv-Mohyla Academy (NaUKMA), Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0005-4176-1644>
anastasiia.bratyshchenko@ukma.edu.ua

Гав'яз Володимир Олександрович – аспірант Інституту молекулярної біології і генетики НАН України, Київ, Україна

Haviyaz Volodymyr – PhD student of Institute of Molecular Biology and Genetics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0000-4840-3069>
volodhavy@gmail.com

Гончаренко Антон Ігорович – аспірант Інституту молекулярної біології і генетики НАН України, Київ, Україна

Honcharenko Anton – PhD student of Institute of Molecular Biology and Genetics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0006-4124-5321>
a.honcharenko@ukma.edu.ua

Стаховський Едуард Олександрович – доктор медичних наук, професор, член-кореспондент НАМН України, завідувач науково-клінічного відділу пластичної та реконструктивної онкоурології Державного некомерційного підприємства «Національний інститут раку», Київ, Україна

Stakhovsky Eduard – Doctor Science in Medicine, Professor, Corresponding Member of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Head of the Scientific and Clinical Department of Plastic and Reconstructive Oncourology of the State Non-Profit Enterprise “National Cancer Institute”, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-5677-8768>

estakhovsky@yahoo.com

Кононенко Олексій Анатолійович – кандидат медичних наук, лікар-уролог науково-клінічного відділу пластичної та реконструктивної онкоурології Державного некомерційного підприємства «Національний інститут раку», Київ, Україна

Kononenko Oleksiy – Candidate of Medical Sciences, Urologist at the Scientific and Clinical Department of Plastic and Reconstructive Oncourology, State Non-Profit Enterprise “National Cancer Institute”, Kyiv Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-7081-5964>

kononenko_ol@ukr.net

Росохацька Інна Василівна – провідний інженер відділу молекулярної онкогенетики Інституту молекулярної біології і генетики НАН України, Київ, Україна

Rosohatska Inna – Leading Engineer at Department of Molecular Oncogenetics of Institute of Molecular Biology and Genetics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0009-0009-9409-3108>

prima@imbg.org.ua

Пасічник Тетяна Володимирівна – кандидат біологічних наук, старший викладач кафедри біології Національного університету «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА), Київ, Україна

Pasichnyk Tetiana – Candidate of Biological Sciences, Senior Lecturer at the Department of Biology of National University of Kyiv-Mohyla Academy (NaUKMA), Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0009-0006-1467-8172>

t.pasichnyk@ukma.edu.ua

Маньковська Оксана Сергіївна – кандидат біологічних наук, науковий співробітник Інституту молекулярної біології і генетики НАН України, старший викладач кафедри біології Національного університету «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА), Київ, Україна

Mankovska Oksana – PhD in Biology, Research Scientist at the Institute of Molecular Biology and Genetics of the NAS of Ukraine, Senior Lecturer at the Department of Biology of National University of Kyiv-Mohyla Academy (NaUKMA), Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-2639-8494>

mankovska@gmail.com



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

DOI: 10.18523/2617-4529.2025.8.19-29

UDC 616.894+575.112

P. Vyniavska, V. Shpylchyn

National University of Kyiv-Mohyla Academy (NaUKMA), Kyiv, Ukraine

For the Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative*

ASSOCIATION OF ALPHA-SYNUCLEIN CO-PATHOLOGY WITH BETA-AMYLOID AND PHOSPHORYLATED TAU LEVELS IN ALZHEIMER'S DISEASE

Abstract

Misfolded α -synuclein (α -syn) aggregates can be present in the cerebrospinal fluid (CSF) of individuals with Alzheimer's disease (AD), even in the absence of clinical signs of synucleinopathy. This co-pathology may influence AD progression at the molecular level. Detection of α -synuclein aggregates using seed amplification assay (SAA) enables stratification of AD patients beyond classical biomarkers included in the AT(N) framework. The AT(N) framework allows biological classification of AD based on its core pathological processes: β -amyloid aggregation (A), tau accumulation and hyperphosphorylation (T), and non-specific neurodegeneration (N). This study aimed to explore whether α -syn co-pathology, detected by SAA, is associated with altered concentrations and longitudinal trajectories of CSF β -amyloid 42 ($A\beta_{42}$) and phosphorylated tau 181 (p-tau181) in the biomarker-defined AD group. Data from A+T+ participants ($N = 609$) in the Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative (ADNI) were analysed, using Roche Elecsys electrochemiluminescence immunoassay (ECLIA) and SAA results. Substantial discrepancies between clinical diagnosis and AT profiles were observed. Twenty-nine percent of A+T+ participants were α -syn-positive (S+), indicating a high prevalence of α -syn co-pathology in biologically defined AD. Cross-sectional comparisons revealed that S+ individuals had lower baseline $A\beta_{42}$ concentrations compared to α -syn-negative (S-) participants. Linear mixed-effects models (LMEMs) showed a significantly steeper decline in $A\beta_{42}$ over time in the S+ group, supporting the hypothesis that misfolded α -syn aggregation accelerates amyloid aggregation. However, p-tau181 levels increased more slowly in S+ than in S- individuals, contrary to expectations. These associations remained significant after adjustment for age, sex, diagnosis, and APOE- $\epsilon 4$ genotype. These findings suggest that α -syn co-pathology may affect AD progression through its interaction with $A\beta_{42}$ and support its integration into biomarker-based classification frameworks.

Keywords: Alzheimer's disease, synucleinopathy, co-pathology, α -synuclein, β -amyloid 42, phosphorylated tau 181, cerebrospinal fluid, AT(N) classification.

Introduction

Alzheimer's disease is the most prevalent cause of dementia worldwide, accounting for up to 80% of cases [1]. It was estimated that approximately 416 million individuals are affected globally, resulting in a significant economic and social burden [2].

AD is characterised by the extracellular neuritic plaques and intercellular neurofibrillary tangles formed by β -amyloid and hyperphosphorylated tau, respectively [3]. More than 98% of clinical trials for AD treatments have failed, mainly due to the high rate of misdiagnosis [4]. Advances in biomarker

* Data used in preparation of this article were obtained from the Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative (ADNI) database (adni.loni.usc.edu). As such, the investigators within the ADNI contributed to the design and implementation of ADNI and/or provided data but did not participate in the analysis or writing of this report. A complete listing of ADNI investigators can be found at: http://adni.loni.usc.edu/wp-content/uploads/how_to_apply/ADNI_Acknowledgement_List.Pdf

Table 1

AT(N) classification for AD and corresponding cognitive stages. Modified from [7-9]

AT(N) Profile	Cognitive stage			Pathology
	CN	MCI	Dementia	
A–T–(N)–	Normal AD biomarkers			Normal aging
A+T–(N)–	Preclinical AD pathological change	AD pathological change		Alzheimer’s continuum
A+T+(N)–	Preclinical AD	Alzheimer’s disease		
A+T+(N)+	Preclinical AD	Alzheimer’s disease		
A+T–(N)+	AD and concomitant suspected non-AD pathologic change			
A–T+(N)–	Non-AD pathological change			Cerebrovascular disease, prion disease, and early tauopathies
A–T–(N)+	Non-AD pathological change			Limbic-predominant age-related TPD-43 encephalopathy
A–T+(N)+	Non-AD pathological change			Vascular dementia, tauopathies, dementia with Lewy bodies, primary age-related tauopathy

Footnote:

1. The AT(N) framework enables classification of AD based on the presence (+) or absence (-) of amyloid (A), tau (T), and neurodegeneration (N) pathologies.
2. CN – cognitively normal; MCI – mild cognitive impairment.

research have enabled a shift from the clinical diagnosis of AD, traditionally based on cognitive symptoms, to a more accurate biological definition through the AT(N) framework (Table 1) [5,6].

The AT(N) classification can be based on various biomarker sources, including positron emission tomography (PET) neuroimaging and cerebrospinal fluid (CSF) assays [10]. The fully automated Roche Elecsys electrochemiluminescence immunoassay (ECLIA) provides an accessible and cost-effective method, offering high concordance with PET and neuropathological findings [11-13]. Established quantitative cut-offs for CSF β -amyloid 42 (A β 42) and phosphorylated tau at threonine 181 (p-tau181) measured with Roche Elecsys ECLIA allow accurate and precise categorisation into AD-positive and AD-negative profiles [14-16].

Despite the utility of the AT(N) framework in defining AD biologically, the disease rarely exists in its pure form. In 56% to 94% of cases, it co-occurs with other neuropathological processes that may influence disease progression [17-19]. The most common comorbidities include cerebrovascular pathologies, tauopathies, and synucleinopathies, such as Parkinson's disease (PD) and Lewy-body dementia (LBD), which are characterised by misfolded α -synuclein (α -syn) aggregation. Animal studies suggest that α -syn promotes β -amyloid aggregation and tau accumulation via prion-like spreading [20-22], but translation to humans remains limited [23,24]. Biomarkers offer an alternative for modelling these processes. The seed amplification assay (SAA) allows *in vivo* detection of misfolded α -syn aggregates in CSF. This study aims to

investigate the association between misfolded α -syn aggregates and core AD biomarkers CSF A β 42 and p-tau181 using data from the Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative (ADNI).

Materials and methods

Data used in the preparation of this article were obtained from the ADNI database (adni.loni.usc.edu). The ADNI was launched in 2003 as a public-private partnership, led by Principal Investigator Michael W. Weiner, MD. Its original goal was to assess whether serial MRI, PET, biomarkers, and clinical assessments could track AD progression. Current aims include biomarker validation for clinical trials and improving diagnostic accuracy across diverse populations. All ADNI study procedures were approved by local ethics committees and conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and Good Clinical Practice guidelines. Written informed consents were obtained from all participants.

This study included participants from the ADNI who had CSF samples analysed for A β 42, p-tau181, and α -synuclein. Demographic variables (age, sex, ethnicity, race), clinical diagnosis, APOE genotype, and biomarker results were retrieved from the ADNI database. CSF A β 42 and p-tau181 concentrations were measured using automated ECLIA on the Roche Elecsys platform at the ADNI Biomarker Core Laboratory (University of Pennsylvania Medical Center). Samples with values outside the validated detection ranges (A β 42: 200-1700 pg/mL; p-tau181: 8-120 pg/mL) were excluded. Participants were classified into AT profiles using established cut-offs: A+ if A β 42 < 1026 pg/mL and T+ if p-tau181 > 22 pg/mL [15].

Misfolded α -synuclein aggregates were detected using the SAA at the Amprion Clinical Laboratory under CLIA certification. Only samples classified as “Detected-1” (LBD-type) or “Not Detected” were included; those labelled as “Detected-2” (MSA-type), “Intermediate”, and visibly discoloured due to hemoglobin contamination were excluded. Participants with “Detected-1” results were assigned to the S+ group, and those with “Not Detected” to the S- group. APOE genotyping was based on two SNPs (rs429358, rs7412) and performed via restriction fragment length polymorphism (RFLP) analysis. Only the presence or absence of the APOE ϵ 4 allele was considered in this study.

All statistical analyses were conducted in R version 4.3.2. A p-value < 0.05 was considered statistically significant.

Contingency tables were used to assess the distribution of AT profiles across clinical diagnoses, and the distribution of α -synuclein (S) profiles within each AT group. Pairwise group comparisons between S- and S+ participants within the A+T+ group were performed to assess differences between demographic, clinical and biomarker. The chi-squared test or Fisher’s exact test was applied for categorical variables. The Wilcoxon rank sum test was used for continuous variables. Baseline differences in log-transformed CSF A β 42 and p-tau181 levels were assessed using analysis of covariance (ANCOVA), adjusted for age, sex, clinical diagnosis, and APOE- ϵ 4 carrier status.

Participants with two or more measurements of CSF A β 42 and p-tau181 were included in the longitudinal analysis. Linear mixed-effects models (LMEs) were used to assess whether α -syn SAA (S) status predicted the rate of change in log-transformed A β 42 and p-tau181 levels over time within the A+T+ group. Each model included fixed effects for time (months since baseline), S status, their interaction, and covariates age, sex, clinical diagnosis, and APOE- ϵ 4 carrier status. Random intercepts were included to account for individual baseline differences. Random slopes were estimated at the group level due to the limited number of repeated measures per participant. Two LMEs were fitted: (1) prediction of A β 42 change based on S status; (2) prediction of p-tau181 change based on S status. These models were used to evaluate: the change in biomarker levels over time in S- individuals; the change in biomarker levels over time in S+ individuals; the difference in rate of change between S+ and S- groups. All models were fitted using restricted maximum likelihood (REML) estimation, with Satterthwaite’s method used to approximate degrees of freedom.

Results and discussion

The final dataset included 1444 ADNI participants: 508 CN, 679 with MCI, and 257 with dementia due to AD. They were classified in four biomarker groups based on AT profiles derived from CSF A β 42 and p-tau181 levels: amyloid-negative and tau-negative (A-T-), amyloid-negative and tau-positive (A-T+), amyloid-positive and tau-negative (A+T-), amyloid-positive and tau-positive (A+T+). A substantial mismatch was observed between clinical diagnoses and AT profiles (Fig. 1). Only 78% of clinically diagnosed AD cases were A+T+, 14% were A+T-, 3% were A-T+, and 5% had normal CSF A β 42 and p-tau181 levels. This is consistent with a previous autopsy study showing 76% agreement between clinical and confirmed AD diagnosis [25]. In the MCI group, only 47% were A+T+; 22% were A+T-. Notably, 22% were A-T-, showing no AD pathological change. These participants may have non-AD cognitive impairment due to other causes, such as sleep disorders or depression [26]. Among CN participants, 17% were already A+T+, suggesting preclinical AD; 25% were A+T-, indicating amyloid accumulation without tau pathology. These individuals are at high risk for progression. A PET study in CN individuals reported similar findings, with 9.1% A+T+ individuals who showed the fastest cognitive decline [27].

Misfolded α -synuclein was detected in all AT profiles (Fig. 2). The highest prevalence of S+ individuals was observed in the A+T+ group (29%), followed by A+T- (24%), A-T+ (20%), and A-T- (15%). Similar prevalence of comorbid synucleinopathy among AD cases has been reported in neuropathological studies. For example, postmortem data from the Mayo Clinic Brain Bank revealed that 33% of clinically diagnosed pure AD cases showed Lewy body co-pathology [28].

Clinical, demographic, and biomarker characteristics were compared between S- (N = 431) and S+ (N = 178) participants within the A+T+ group and summarised in Table 2. The distribution of clinical diagnoses was significantly different ($p = 0.002$), with a higher frequency of AD (42%) and a lower frequency (9%) of CN in the S+ group. These findings suggest that α -synuclein co-pathology may be associated with more advanced AD clinical stages. No significant differences were found in age, sex, race, ethnicity, or APOE- ϵ 4 carrier status between S+ and S- individuals. The ADNI cohort represented the limited racial and ethnical diversity with most participants being White and non-Hispanic. Overall, the demographic profile was typical for late-onset AD [29].

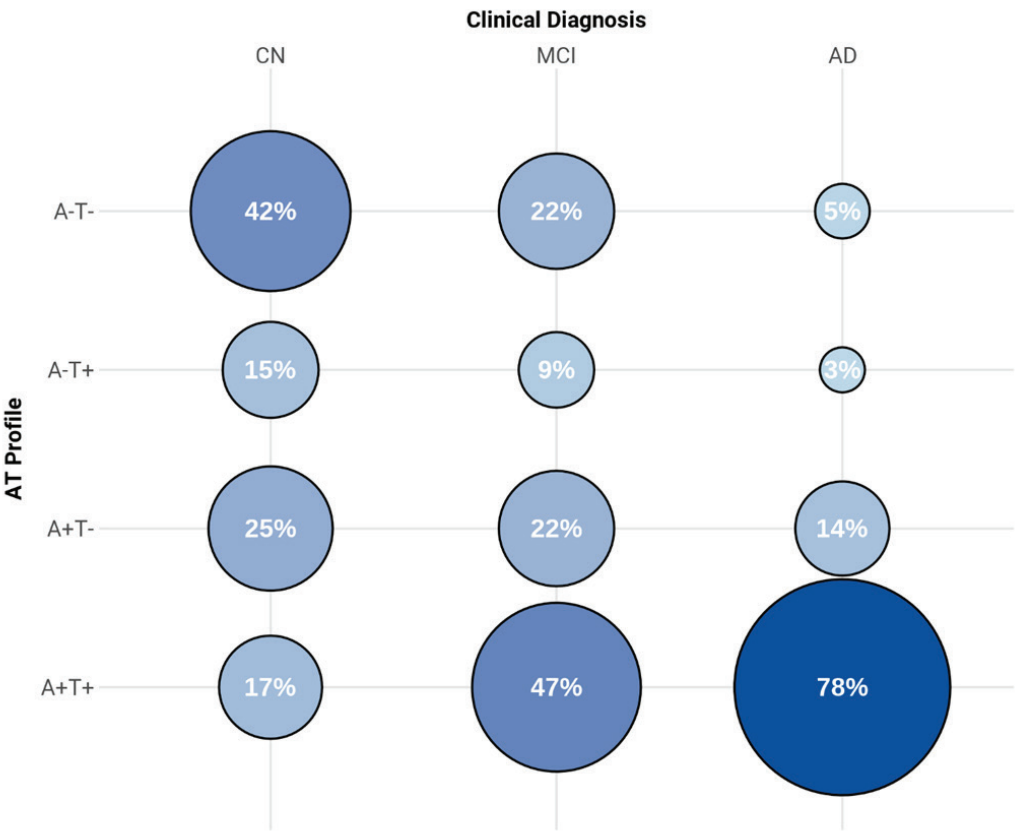


Fig. 1. Distribution of AT biomarker profiles across clinical diagnostic groups. The size and colour intensity of the circles represent the proportion of participants within each clinical diagnosis group: CN – cognitively normal; MCI – mild cognitive impairment; AD – Alzheimer’s disease dementia. Participants were classified into one of four biomarker profiles based on CSF A β 42 and p-tau181 levels: A–T– – amyloid-negative and tau-negative; A–T+ – amyloid-negative and tau-positive; A+T– – amyloid-positive and tau-negative; A+T+ – amyloid-positive and tau-positive.

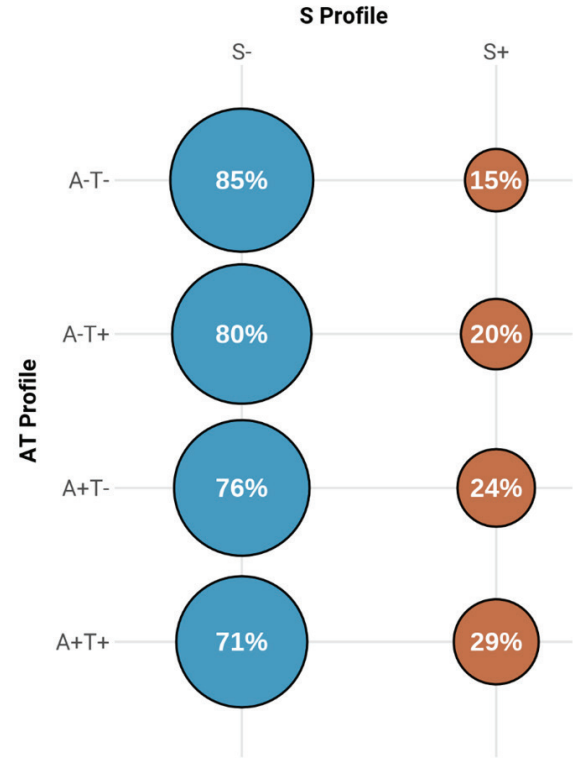


Fig. 2. Distribution of α -synuclein SAA positivity across AT biomarker profiles. Each circle represents the proportion of α -synuclein profiles within each AT biomarker group: S– – α -synuclein-negative; S+ – α -synuclein-positive; A–T– – amyloid-negative and tau-negative; A–T+ – amyloid-negative and tau-positive; A+T– – amyloid-positive and tau-negative; A+T+ – amyloid-positive and tau-positive. Blue circles show the percentage of S– individuals; red circles show the percentage of S+ individuals. Circle size corresponds to the proportion of patients in each subgroup.

Table 2

Clinical, demographic, and biomarker characteristics of A+T+ participants stratified by α -synuclein SAA status

Characteristic	Categories	A+T+ group		P-value
		S- (N = 431) ¹	S+ (N = 178) ¹	
Clinical Diagnosis				0.002 ²
	CN	72 (16.7%)	16 (9.0%)	
	MCI	234 (54.3%)	87 (48.9%)	
	AD	125 (29.0%)	75 (42.1%)	
Age (years)		74 [69–78]	75 [70–79]	0.054 ³
Sex				0.6 ²
	Female	200 (46.4%)	79 (44.4%)	
	Male	231 (53.6%)	99 (55.6%)	
Ethnicity				>0.9 ⁴
	Not Hispanic or Latino	418 (97.0%)	174 (97.8%)	
	Hispanic or Latino	10 (2.3%)	3 (1.7%)	
	Unknown	3 (0.7%)	1 (0.6%)	
Race				0.8 ⁴
	White	411 (95.4%)	173 (97.2%)	
	Black	11 (2.6%)	2 (1.1%)	
	Asian	3 (0.7%)	1 (0.6%)	
	Other	6 (1.4%)	2 (1.1%)	
APOE- ϵ 4 Carrier Status				0.5 ²
	Non-carrier	125 (29.0%)	47 (26.4%)	
	Carrier	306 (71.0%)	131 (73.6%)	
CSF A β 42 (pg/mL)		652 [511–776]	616 [493–744]	0.07 ⁵
CSF p-tau181 (pg/mL)		34 [28–46]	34 [28–45]	0.5 ⁵

Footnote:

1. N (%); median [Q1-Q3]
2. Pearson's Chi-squared test
3. Wilcoxon rank sum test
4. Fisher's exact test
5. ANCOVA adjusted for age, sex, clinical diagnosis, and APOE- ϵ 4 carrier status

Lower CSF A β 42 concentrations were observed in the S+ group (616 pg/mL, IQR: 493–744) compared to the S- group (652 pg/mL, IQR: 511–776), showing no statistical significance after adjustment ($p = 0.07$). This trend is consistent with prior findings suggesting that α -synuclein aggregation may enhance amyloid deposition [30]. In contrast, p-tau181 levels were nearly identical in both groups (median 34 pg/mL, IQR: 28–46 in S-, IQR: 28–45 in S+), with no significant difference ($p = 0.5$). These results suggest that α -syn co-pathology is associated with amyloid burden rather than with tau pathology.

Participants with ≥ 2 CSF measurements ($N = 699$) were analysed to explore AT profile stability over time. Most individuals (79.5%) retained a stable AT profile. The remaining 21.5% ($N = 150$) showed at least one AT profile change (Fig. 3). Among them, 125 showed different profiles between baseline and final timepoints (Fig. 4). The remaining 25 showed intermediate transitions but reverted to their initial AT profile. Most profile changes followed a typical

amyloid-first pattern of AD progression. For example, 62.5% of A-T- participants converted to A+T-, and all baseline A-T+ participants progressed to A+T+. Profile reversions were observed in 14 A+T+ and 17 A+T- individuals among CN and MCI participants only, suggesting instability during early disease stages. Two subgroups of A+T+ participants demonstrated distinct reversion patterns. The first subgroup ($N = 5$) transitioned from A+T+ to A-T+, accompanied by a rise in A β 42 median from 963.2 pg/mL (IQR: 935.3–976.6) to 1082.0 pg/mL (IQR: 1081.0–1099.0). The second subgroup ($N = 9$) reverted from A+T+ to A+T-, with a decrease in p-tau181 median from 23.7 pg/mL (IQR: 22.8–24.7) to 21.6 pg/mL (IQR: 20.6–21.7). These reversions occurred with biomarker values near diagnostic cut-offs, suggesting that slight fluctuations around threshold levels may drive profile instability. Similar atypical progression patterns have been reported previously, including tau- or neurodegeneration-first patterns and reversals to normal biomarker status [31,32].

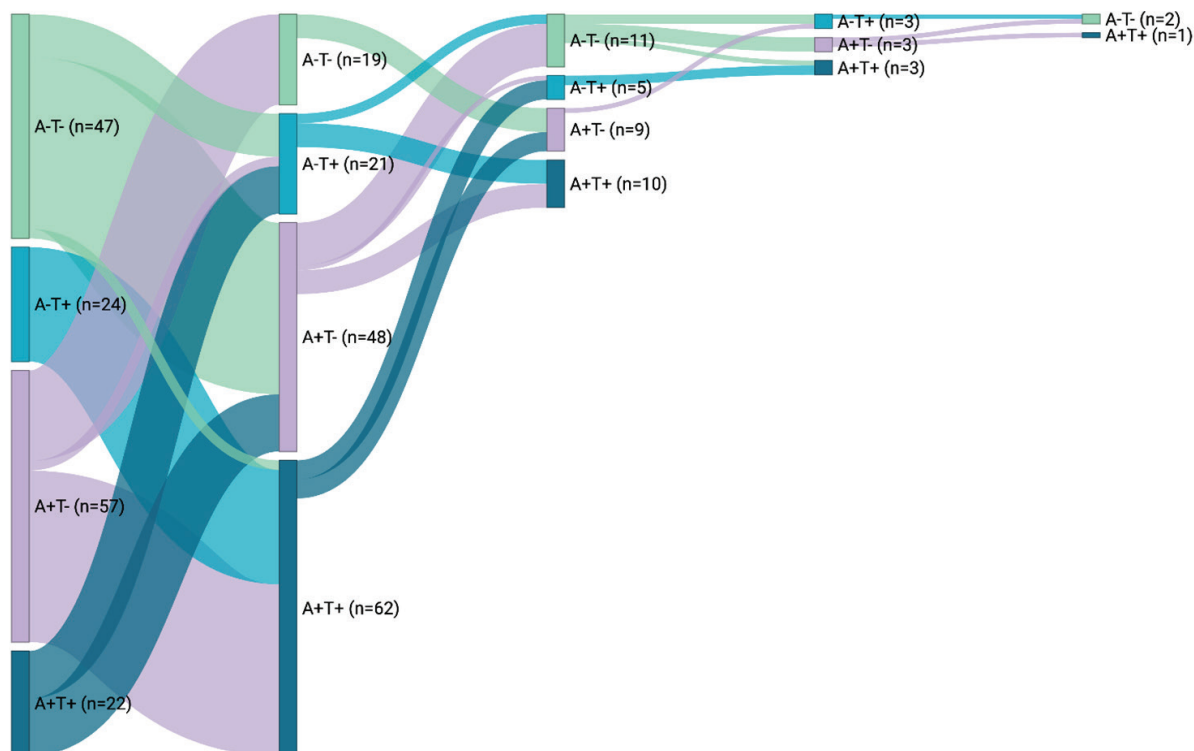


Fig. 3. Sankey diagram of intermediate AT profile transitions across multiple visits in participants with ≥ 3 AT timepoints and ≥ 2 different profiles. The first node represents the AT profile and baseline visit. The following nodes represent the next AT profile transition at any given time point after baseline. Links represent direction and frequency of transitions.



Fig. 4. Sankey diagram of transitions between AT profiles from the first to the last biomarker assessment among participants with at least two CSF A β 42 and p-tau181 measurements. Each flow represents the number of individuals moving between profiles. Left and right nodes represent the first and the last AT profile. Node sizes reflect the number of individuals in each profile at each time point. Links represent direction and frequency of transitions.

In the model for log-transformed A β 42 (Table 3), S+ status was not significantly associated with baseline A β 42 levels ($\beta = -0.042$). In the S- group, A β 42 levels did not change significantly over time ($\beta = 0.0008$, $p = 0.25$). However, a significant interaction between time and S status was observed ($\beta = -0.0016$, $p < 0.01$), indicating a faster decline in A β 42 levels among S+ participants. Male

participants had significantly higher A β 42 levels ($\beta = 0.089$, $p < 0.001$). APOE- $\epsilon 4$ carriers showed significantly lower A β 42 levels ($\beta = -0.09$, $p < 0.001$). Participants diagnosed with AD had lower baseline A β 42 compared to CN ($\beta = -0.059$, $p = 0.03$), while those with MCI did not differ significantly ($\beta = 0.008$, $p = 0.74$). The random intercept for participants showed substantial inter-individual

variability (variance = 0.066), while the lower residual variance (0.016) reflected relatively small within-subject variation. The marginal R^2 for the model was 0.078, meaning 7.8% of variance was explained by fixed effects. The conditional R^2 was 0.816, indicating that the full model accounting for both fixed and random effects explained approximately 82% of the variance in A β 42 levels.

In the model for log-transformed p-tau181 (Table 4), time was significantly associated with increasing concentrations ($\beta = 0.0039$, $p < 0.001$). A significant interaction between time and S status was also observed ($\beta = -0.002$, $p < 0.001$), indicating that S+ individuals exhibited a slower rate of increase in p-tau181 concentrations over time compared to S- individuals. S status alone was not associated with baseline p-tau181 levels ($\beta = -0.0081$, $p = 0.78$). Male sex was significantly associated with higher p-tau181 concentrations ($\beta = 0.076$, $p = 0.004$). MCI participants had higher baseline levels than CN ($\beta = 0.048$, $p = 0.03$). No significant difference was found for participants with AD compared to CN ($\beta = 0.031$, $p = 0.22$).

APOE- ϵ 4 carrier status was not associated with p-tau181 ($\beta = 0.0082$, $p = 0.78$). The random intercept variance was 0.095, with the residual variance of 0.01, suggesting higher between-subject variability than within-subject variability. The marginal R^2 for the model was 0.026, meaning 2.6% of variance was explained by fixed effects. The conditional R^2 was 0.909, indicating that the full model accounting for both fixed and random effects explained 90.9% of the variance in p-tau181 levels.

Predicted biomarker trajectories showed different longitudinal patterns of CSF A β 42 and p-tau181 in A+T+ individuals depending on the presence of misfolded α -syn aggregates (Figs. 5 and 6). While baseline A β 42 concentrations were not significantly different ($p = 0.1$) between S+ and S- groups, the rate of decline over time was significantly greater in S+ individuals ($p = 0.001$). This supports the hypothesis that α -synuclein co-pathology accelerates amyloid aggregation in the brain. In contrast, no progressive increase in p-tau181 was observed across the full cohort. Instead, S+ individuals displayed a stable trajectory of p-tau181 over time, while S- individuals exhibited a moderate

Table 3

Linear mixed-effects models were fitted to evaluate longitudinal changes in log-transformed CSF A β 42 levels in A+T+ participants

Fixed Effect	β	SE	DF	t-value	p-value
(Intercept)	6.42	0.05512	676.4	116.466	< 0.001
Time (months)	0.0008	0.0007087	583.5	1.159	0.25
S+	-0.042	0.02573	632.1	-1.625	0.1
Time $\times$ S+	-0.0016	0.0005037	567.7	-3.233	0.001
Male	0.089	0.02311	587.0	3.831	< 0.001
MCI vs. CN	0.008	0.0247	1067.0	0.338	0.74
AD vs. CN	-0.059	0.02713	1078.0	-2.174	0.03
APOE4 Carrier	-0.09	0.0258	585.6	-3.477	< 0.001

Footnote:

1. The table reports the estimated β coefficients for each fixed effect, their standard errors (SE), degrees of freedom (DF), t-statistics (t-value), and the associated p-values.

Table 4

Linear mixed-effects models were fitted to evaluate longitudinal changes in log-transformed CSF p-tau181 levels in A+T+ participants

Fixed Effect	β	SE	DF	t-value	p-value
(Intercept)	3.458	0.06151	651.0	56.22	< 0.001
Time (months)	0.0039	0.0005592	532.9	6.978	< 0.001
S+	-0.0081	0.02917	598.3	-0.279	0.8
Time $\times$ S+	-0.002	0.02648	577.5	2.861	< 0.001
Male	0.076	0.0223	889.8	2.148	0.004
MCI vs. CN	0.048	0.02512	957.2	1.23	0.03
AD vs. CN	0.031	0.02957	576.6	0.276	0.2
APOE4 Carrier	0.0082	0.0003952	519.0	-5.028	0.8

Footnote:

1. The table reports the estimated β coefficients for each fixed effect, their standard errors (SE), degrees of freedom (DF), t-statistics (t-value), and the associated p-values.

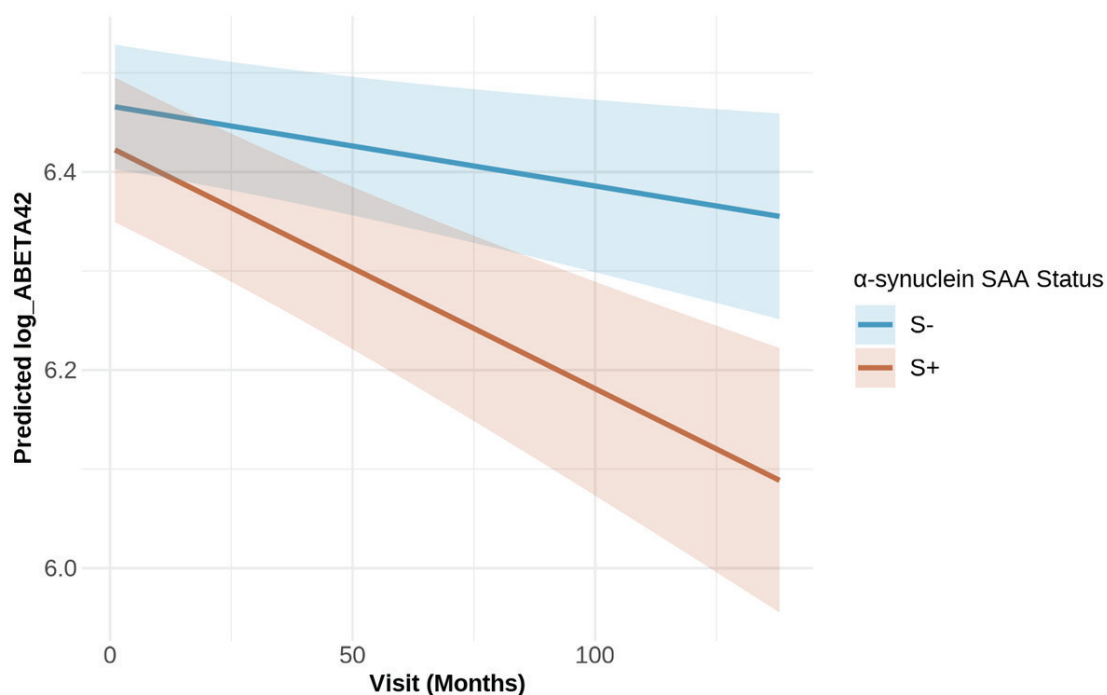


Fig. 5. Predicted longitudinal trajectories of log-transformed CSF Aβ42 levels over time in A+T+ participants, stratified by α-synuclein seeding activity status. Shaded ribbons represent 95% confidence intervals. Adjusted for age, sex, diagnosis, APOE-ε4 carrier status.

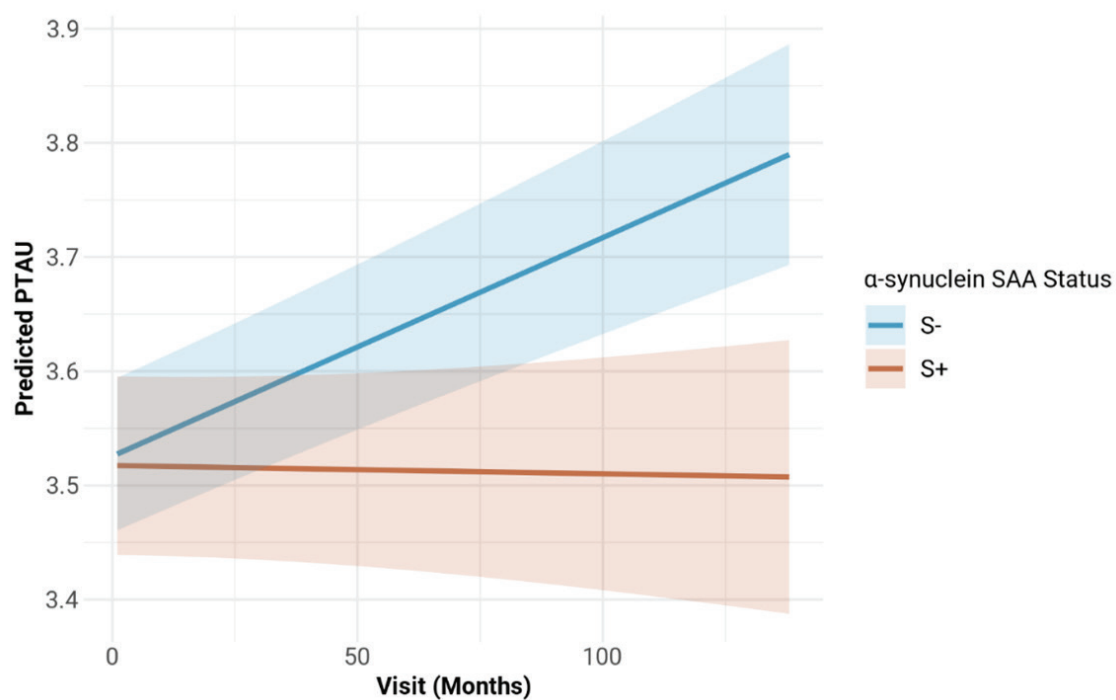


Fig. 6. Predicted longitudinal trajectories of log-transformed CSF p-tau181 levels over time in A+T+ participants, stratified by α-synuclein seeding activity status. Shaded ribbons represent 95% confidence intervals. Adjusted for age, sex, diagnosis, APOE-ε4 carrier status.

upward trend. The predicted p-tau181 rate of change was significantly slower in the S+ group compared to the S- group ($p < 0.001$). These findings differ from the typical pattern of steadily increasing tau pathology in AD and may reflect limitations in measuring tau dynamics using CSF p-tau181.

Similarly, Pichet Binette et al. [33] reported stronger associations between α -synuclein and A β PET signal, but not with tau PET trajectories. Franzmeier et al. [34] demonstrated that S+ exacerbates A β -related tau accumulation, as measured by tau PET, and accelerates cognitive decline. Tosun et al. [30,35], using ADNI CSF biomarker data, found no significant longitudinal differences in A β 42 or p-tau181 by S status, but reported earlier symptom onset and faster clinical progression in S+ participants.

Conclusions

Misfolded α -synuclein aggregates were detected in 29% of A+T+ individuals. S+ status was associated with a significantly faster decline in CSF A β 42 but not with baseline levels. In contrast, p-tau181 levels increased more slowly in the S+ group. Approximately 20% of ADNI participants showed changes in AT profiles over time, occurring only in CN and MCI individuals near diagnostic cut-offs. SAA status did not influence baseline biomarker concentrations independently. Sex, clinical diagnosis, and APOE- ϵ 4 genotype contributed to biomarker variability. Results support

the inclusion of α -synuclein status in the AT(N) framework to improve biological stratification of Alzheimer's disease.

Acknowledgements

Data collection and sharing for the Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative (ADNI) is funded by the National Institute on Aging (National Institutes of Health Grant U19AG024904). The grantee organization is the Northern California Institute for Research and Education. In the past, ADNI has also received funding from the National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering, the Canadian Institutes of Health Research, and private sector contributions through the Foundation for the National Institutes of Health (FNIH) including generous contributions from the following: AbbVie, Alzheimer's Association; Alzheimer's Drug Discovery Foundation; Araclon Biotech; BioClinica, Inc.; Biogen; Bristol-Myers Squibb Company; CereSpir, Inc.; Cogstate; Eisai Inc.; Elan Pharmaceuticals, Inc.; Eli Lilly and Company; EuroImmun; F. Hoffmann-La Roche Ltd and its affiliated company Genentech, Inc.; Fujirebio; GE Healthcare; IXICO Ltd.; Janssen Alzheimer Immunotherapy Research & Development, LLC.; Johnson & Johnson Pharmaceutical Research & Development LLC.; Lumosity; Lundbeck; Merck & Co., Inc.; Meso Scale Diagnostics, LLC.; NeuroRx Research; Neurotrack Technologies; Novartis Pharmaceuticals Corporation; Pfizer Inc.; Piramal Imaging; Servier; Takeda Pharmaceutical Company; and Transition Therapeutics.

References

1. 2024 Alzheimer's disease facts and figures. *Alzheimers Dement.* 2024;20(5):3708-821. doi:10.1002/alz.13809
2. Gustavsson A, Norton N, Fast T, Frölich L, Georges J, Holzapfel D, Kirabali T, Krolak-Salmon P, Rossini PM, Ferretti MT, Lanman L, Chadha AS, van der Flier WM. Global estimates on the number of persons across the Alzheimer's disease continuum. *Alzheimer's & Dementia.* 2023;19(2):658-70. doi:10.1002/alz.12694
3. Knopman DS, Amieva H, Petersen RC, Chételat G, Holtzman DM, Hyman BT, Nixon RA, Jones DT. Alzheimer disease. *Nature reviews. Disease primers.* 2021;7(1):33. doi:10.1038/s41572-021-00269-y
4. Kim CK, Lee YR, Ong L, Gold M, Kalali A, Sarkar J. Alzheimer's Disease: Key Insights from Two Decades of Clinical Trial Failures. *Journal of Alzheimer's Disease.* 2022;87(1):83-100. doi:10.3233/JAD-215699
5. Jack CR Jr, Bennett DA, Blennow K, Carrillo MC, Dunn B, Haeberlein SB, Holtzman DM, Jagust W, Jessen F, Karlawish J, Liu E, Molinuevo JL, Montine T, Phelps C, Rankin KP, Rowe CC, Scheltens P, Siemers E, Snyder HM, Sperling R; Contributors. NIA-AA Research Framework: Toward a biological definition of Alzheimer's disease. *Alzheimer's & Dementia.* 2018;14(4):535-62. doi:10.1016/j.jalz.2018.02.018
6. Jack CR Jr, Andrews JS, Beach TG, Buracchio T, Dunn B, Graf A, Hansson O, Ho C, Jagust W, McDade E, Molinuevo JL, Okonkwo OC, Pani L, Rafii MS, Scheltens P, Siemers E, Snyder HM, Sperling R, Teunissen CE, Carrillo MC. Revised criteria for diagnosis and staging of Alzheimer's disease: Alzheimer's Association Workgroup. *Alzheimer's & Dementia.* 2024; 20(8):5143-69. doi:10.1002/alz.13859
7. Gauthier S, Rosa-Neto P. Alzheimer's disease biomarkers: Amyloid, tau, neurodegeneration (ATN)—where do we go from here? *Practical Neurology.* 2019;18(3):60-88
8. Andersen E, Casteigne B, Chapman WD, Creed A, Foster F, Lapins A, Shatz R, Sawyer RP. Diagnostic biomarkers in Alzheimer's disease. *Biomarkers in Neuropsychiatry.* 2021; 5:100041. doi:10.1016/j.bionps.2021.100041
9. Kang JH, Korecka M, Lee EB, Cousins K, Tropea TF, Chen-Plotkin AA, Irwin DJ, Wolk D, Brylska M, Wan Y, Shaw LM. Alzheimer Disease Biomarkers: Moving from CSF to Plasma for Reliable Detection of Amyloid and tau Pathology. *Clinical chemistry.* 2023;69(11):1247-59. doi:10.1093/clinchem/hvad139
10. Pascoal TA, Aguzzoli CS, Lussier FZ, Crivelli L, Suemoto CK, Fortea J, Rosa-Neto P, Zimmer ER, Ferreira PCL, Bellaver. Insights into the use of biomarkers in clinical trials in Alzheimer's disease. *EBioMedicine.* 2024;108:105322. doi:10.1016/j.ebiom.2024.105322
11. Bittner T, Zetterberg H, Teunissen CE, Ostlund RE Jr, Militello M, Andreasson U, Hubeek I, Gibson D, Chu DC, Eichenlaub U, Heiss P, Kobold U, Leinenbach A, Madin K, Manuilova E, Rabe C, Blennow K. Technical performance of a novel, fully automated electrochemiluminescence immunoassay for the

- quantitation of β -amyloid (1–42) in human cerebrospinal fluid. *Alzheimer's & Dementia*. 2016;12(5):517-26. doi:10.1016/j.jalz.2015.09.009
12. Hansson O, Seibyl J, Stomrud E, Zetterberg H, Trojanowski JQ, Bittner T, Lifke V, Corradini V, Eichenlaub U, Batrla R, Buck K, Zink K, Rabe C, Blennow K, Shaw LM; Swedish BioFINDER study group; Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative. CSF biomarkers of Alzheimer's disease concord with amyloid- β PET and predict clinical progression: A study of fully automated immunoassays in BioFINDER and ADNI cohorts. *Alzheimer's & Dementia*. 2018;14(11):1470-81. doi:10.1016/j.jalz.2018.01.010
 13. Doecke JD, Ward L, Burnham SC, Villemagne VL, Li QX, Collins S, Fowler CJ, Manuilova E, Widmann M, Rainey-Smith SR, Martins RN, Masters CL; AIBL Research Group. Elecsys CSF biomarker immunoassays demonstrate concordance with amyloid-PET imaging. *Alzheimer's research & therapy*. 2020;12(1):36. doi:10.1186/s13195-020-00595-5
 14. Blennow K, Shaw LM, Stomrud E, Mattsson N, Toledo JB, Buck K, Wahl S, Eichenlaub U, Lifke V, Simon M, Trojanowski JQ, Hansson O. Predicting clinical decline and conversion to Alzheimer's disease or dementia using novel Elecsys A β (1–42), pTau and tTau CSF immunoassays. *Scientific reports*. 2019;9(1):19024. doi:10.1038/s41598-019-54204-z
 15. Van Harten AC, Wiste HJ, Weigand SD, Mielke MM, Kremers WK, Eichenlaub U, Dyer RB, Algeciras-Schimnich A, Knopman DS, Jack CR Jr, Petersen RC. Detection of Alzheimer's disease amyloid beta 1-42, p-tau, and t-tau assays. *Alzheimer's & Dementia*. 2022;18(4):635-44. doi:10.1002/alz.12406
 16. Blennow K, Stomrud E, Zetterberg H, Borlinghaus N, Corradini V, Manuilova E, Müller-Hübner L, Quevenec F-C, Rutz S, Hansson O. Second-generation Elecsys cerebrospinal fluid immunoassays aid diagnosis of early Alzheimer's disease. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*. 2022;61(2):234-44. doi:10.1515/ccml-2022-0516
 17. Boyle PA, Yu L, Wilson RS, Leurgans SE, Schneider JA, Bennett DA. Person-specific contribution of neuropathologies to cognitive loss in old age. *Annals of neurology*. 2018;83(1):74-83. doi:10.1002/ana.25123
 18. Spina S, La Joie R, Petersen C, Nolan AL, Cuevas D, Cosme C, Hepker M, Hwang JH, Miller ZA, Huang EJ, Karydas AM, Grant H, Boxer AL, Gorno-Tempini ML, Rosen HJ, Kramer JH, Miller BL, Seeley WW, Rabinovici GD, Grinberg LT. Comorbid neuropathological diagnoses in early versus late-onset Alzheimer's disease. *Brain*. 2021;144(7):2186-98. doi:10.1093/brain/awab099
 19. Robinson JL, Richardson H, Xie SX, Suh E, Van Deerlin VM, Alfaro B, Loh N, Porras-Paniagua M, Nirschl JJ, Wolk D, Lee VM, Lee EB, Trojanowski JQ. The development and convergence of co-pathologies in Alzheimer's disease. *Brain*. 2021;144(3):953-62. doi:10.1093/brain/awaa438
 20. Twohig D, Nielsen HM. α -synuclein in the pathophysiology of Alzheimer's disease. *Molecular Neurodegeneration*. 2019;14(1):23. doi:10.1186/s13024-019-0320-x
 21. Basil F, Meymand ES, Brown HJ, Xu H, Cox TO, Pattabhiraman S, Maghames CM, Wu Q, Zhang B, Trojanowski JQ, Lee VM. α -Synuclein modulates tau spreading in mouse brains. *Journal of Experimental Medicine*. 2021; 218(1):e20192193. doi:10.1084/jem.20192193
 22. Pan L, Li C, Meng L, Tian Y, He M, Yuan X, Zhang G, Zhang Z, Xiong J, Chen G, Zhang Z. Tau accelerates α -synuclein aggregation and spreading in Parkinson's disease. *Brain*. 2022;145(10):3454-71. doi:10.1093/brain/awac171
 23. Langley GR. Considering a new paradigm for Alzheimer's disease research. *Drug Discovery Today*. 2014;19(8):1114-24. doi:10.1016/j.drudis.2014.03.013
 24. Pistollato F, Cavanaugh SE, Chandrasekera PC. A Human-Based Integrated Framework for Alzheimer's Disease Research. *Journal of Alzheimer's Disease*. 2015;47(4):857-68. doi:10.3233/JAD-150281
 25. Fischer CE, Qian W, Schweizer TA, Ismail Z, Smith EE, Millikin CP, Munoz DG. Determining the impact of psychosis on rates of false-positive and false-negative diagnosis in Alzheimer's disease. *Alzheimer's & Dementia*. 2017;3(3):385-92. doi:10.1016/j.trci.2017.06.001
 26. Pan C, Dong N, Yuan X, Li R, Ma J, Su Y, Wang Q, Tu Z, Zheng J, Li Y. Specific cognitive impairment predicts the neuropsychiatric symptoms in patient with mild cognitive impairment. *Aging Clinical and Experimental Research*. 2025;37(1):60. doi:10.1007/s40520-025-02952-6
 27. Ossenkoppele R, Pichet Binette A, Groot C, Smith R, Strandberg O, Palmqvist S, Stomrud E, Tideman P, Ohlsson T, Jögi J, Johnson K, Sperling R, Dore V, Masters CL, Rowe C, Visser D, van Berckel BNM, van der Flier WM, Baker S, Jagust WJ, Wiste HJ, Petersen RC, Jack CR Jr, Hansson O. Amyloid and tau PET-positive cognitively unimpaired individuals are at high risk for future cognitive decline. *Nature Medicine*. 2022; 28(11):2381-7. doi:10.1038/s41591-022-02049-x
 28. DeTure MA, Dickson DW. The neuropathological diagnosis of Alzheimer's disease. *Molecular Neurodegeneration*. 2019; 14(1):32. doi:10.1186/s13024-019-0333-5
 29. Rabinovici GD. Late-onset Alzheimer disease. *Continuum (Minneapolis, Minn.)*. 2019;25(1):14-33. doi:10.1212/CON.0000000000000700
 30. Tosun D, Hausle Z, Iwaki H, Thropp P, Lamoureux J, Lee EB, MacLeod K, McEvoy S, Nalls M, Perrin RJ, Saykin AJ, Shaw LM, Singleton AB, Lebovitz R, Weiner MW, Blauwendraat C; Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative. A cross-sectional study of α -synuclein seed amplification assay in Alzheimer's disease neuroimaging initiative: Prevalence and associations with Alzheimer's disease biomarkers and cognitive function. *Alzheimer's & Dementia*. 2024;20(8):5114-31. doi:10.1002/alz.13858
 31. Tan MS, Ji X, Li JQ, Xu W, Wang HF, Tan CC, Dong Q, Zuo CT, Tan L, Suckling J, Yu JT; Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative. Longitudinal trajectories of Alzheimer's ATN biomarkers in elderly persons without dementia. *Alzheimer's Research & Therapy*. 2020;12(1):55. doi:10.1186/s13195-020-00621-6
 32. Ebenau JL, Visser D, Kroeze LA, van Leeuwenstijn MSSA, van Harten AC, Windhorst AD, Golla SVS, Boellaard R, Scheltens P, Barkhof F, van Berckel BNM, van der Flier WM. Longitudinal change in ATN biomarkers in cognitively normal individuals. *Alzheimer's Research & Therapy*. 2022;14(1):124. doi:10.1186/s13195-022-01069-6
 33. Pichet Binette A, Mammana A, Wisse L, Rossi M, Strandberg O, Smith R, Mattsson-Carlsson N, Janelidze S, Palmqvist S; ADNI; Ticca A, Stomrud E, Parchi P, Hansson O. Associations between misfolded α -synuclein aggregates and Alzheimer's disease pathology *in vivo*. *Alzheimer's & Dementia*. 2024;20(11):7624-34. doi:10.1002/alz.14225
 34. Franzmeier N, Roemer-Cassiano SN, Bernhardt AM, Dehsarvi A, Dewenter A, Steward A, Biel D, Frontzkowski L, Zhu Z, Gnörich J, Pescoller J, Wagner F, Hirsch F, de Bruin H, Ossenkoppele R, Palleis C, Strübing F, Schöll M, Levin J, Brendel M, Höglinger GU. Alpha synuclein co-pathology is associated with accelerated amyloid-driven tau accumulation in Alzheimer's disease. *Molecular Neurodegeneration*. 2025;20(1):31. doi:10.1186/s13024-025-00822-3
 35. Tosun D, Hausle Z, Thropp P, Concha-Marambio L, Lamoureux J, Lebovitz R, Shaw LM, Singleton AB, Weiner MW, Blauwendraat C. Association of CSF α -synuclein seed amplification assay positivity with disease progression and cognitive decline: A longitudinal Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative study. *Alzheimer's & Dementia*. 2024;20(12):8444-60. doi:10.1002/alz.14276

Винявська П. О., Шпильчин В. В.

Національний університет «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА), Київ, Україна

ЗВ'ЯЗОК СУПУТНОЇ ПАТОЛОГІЇ АЛЬФА-СИНУКЛЕЇНУ З РІВНЯМИ БЕТА-АМІЛОЇДУ ТА ФОСФОРИЛЬОВАНОГО ТАУ-БІЛКА ПРИ ХВОРОБІ АЛЬЦГЕЙМЕРА

Неправильно згорнуті агрегати α -синуклеїну (α -syn) можуть бути в спинномозковій рідині осіб із хворобою Альцгеймера (ХА) навіть без клінічних ознак синуклеїнопатії. Ця супутня патологія може впливати на прогресування ХА на молекулярному рівні. Виявлення агрегатів α -синуклеїну за допомогою методу seed amplification assay (SAA) дає змогу стратифікувати пацієнтів із ХА за межами класичних біомаркерів, що входять до рамки АТ(N). Структура АТ(N) дає змогу здійснити біологічну класифікацію ХА на основі її основних патологічних процесів: агрегація β -амілоїду (А), накопичення тау-білка і гіперфосфорилування (Т) та неспецифічна нейродегенерація (N). **Мета дослідження** – з'ясувати, чи пов'язана супутня патологія α -syn, виявлена за допомогою SAA, зі зміненими концентраціями та поздовжніми траєкторіями β -амілоїду 42 (A β 42) та фосфорильованого тау 181 (p-tau181) у групі осіб із ХА, визначеній за біомаркерами. Дані учасників А+Т+ (N = 609) Ініціативи нейровізуалізації хвороби Альцгеймера (ADNI) було проаналізовано з використанням результатів електрохемилюмінесцентного імуноферментного аналізу Roche Elecsys (ECLIA) та SAA. Спостерігалися суттєві розбіжності між клінічним діагнозом та профілями АТ. 29 % учасників А+Т+ були α -syn-позитивними (S+), що свідчить про значну поширеність супутньої патології α -syn у разі біологічно визначеної хвороби Альцгеймера. Перехресні порівняння показали, що в осіб S+ були нижчі вихідні концентрації A β 42 порівняно з α -syn-негативними (S-) учасниками. Лінійні моделі змішаних ефектів (LME) показали значно різкіше зниження A β 42 з часом у групі S+, що підтверджує гіпотезу про те, що неправильно згорнута агрегація α -syn пришвидшує агрегацію амілоїду. Однак рівні p-tau181 зростали повільніше в осіб S+, ніж у осіб S-, у супереччя очікуванням. Ці зв'язки залишалися значними після коригування на вік, стать, діагноз та генотип APOE- ϵ 4. Отримані результати свідчать про те, що супутня патологія α -syn може впливати на прогресування хвороби Альцгеймера через взаємодію з A β 42, а отже, це дає змогу підтримувати її інтеграцію в класифікаційні рамки на основі біомаркерів.

Ключові слова: хвороба Альцгеймера, синуклеїнопатія, супутня патологія, α -синуклеїн, β -амілоїд 42, фосфорильований тау-181, спинномозкова рідина, класифікація АТ(N).

ARTICLE HISTORY. Submitted 9 June 2025. Accepted 25 June 2025. Published 18 August 2025

Відомості про авторів Authors Information

Винявська Поліна Олегівна – студентка магістерської програми «Молекулярна біологія» кафедри біології Національного університету «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА), Київ, Україна
Vyniavska Polina – Student of the Master's Program "Molecular Biology" of Department of Biology of National University of Kyiv-Mohyla Academy (NaUKMA), Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0007-9756-1371>
p.vyniavska@ukma.edu.ua

Шпильчин Віталій Віталійович – кандидат біологічних наук, старший викладач кафедри біології Національного університету «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА), Київ, Україна
Shpylychyn Vitaliy – Candidate of Biological Sciences, Senior Lecturer at Department of Biology of National University of Kyiv-Mohyla Academy (NaUKMA), Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-8494-0926>
vshpylychyn@ukma.edu.ua



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

DOI: 10.18523/2617-4529.2025.8.30-44

УДК [572.71-055.1:904](477.53)“035/045”

Долженко Ю. В.

Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя, Ніжин, Україна

КРАНІОЛОГІЯ ЧОЛОВІКІВ ЧЕРНЯХІВСЬКОЇ КУЛЬТУРИ З МОГИЛЬНИКА БІЛЯ СЕЛИЩА ШИШАКИ

Статтю присвячено публікації та порівняльному аналізу краніологічної групи черняхівської культури другої половини IV – першої половини V ст. н. е. із селища Шишаки. Серія складається з черепів, знайдених під час розкопок 2009–2016 рр. Р. М. Рейди, А. В. Гейка та С. В. Сапегіна. **Мета статті** – ввести в науковий обіг новий матеріал, дати загальну характеристику чоловікам черняхівської культури на тлі суміжних етнічних груп України, Литви, Східної Європи та Євразії (діахронний метод), визначити відстані між окремими серіями III ст. до н. е. – V ст. н. е. за допомогою багатовимірного канонічного і кластерного аналізу та з'ясувати місце чоловіків із Шишаків у системі краніологічних типів черняхівської культури з території України; визначити особливості досліджуваної групи за результатами типологізації. **Методологія.** В основі дослідження лежить принцип об'єктивності, використано загальнонаукові методи аналізу і синтезу, метод спостереження, антропологічні та статистичні методи. Черепи вимірювали за повною краніометричною програмою з використанням стандартної методики Р. Мартіна, згідно з якою вказували нумерацію ознак. У роботі використано комп'ютерні програми, які створили Б. та О. Козінцеви 1991 р. Залучено 14 краніометричних ознак. У статті розглянуто тільки чоловіків, позаяк жінки потребують окремого докладного дослідження. **Наукова новизна.** Вперше було створено чоловічу вибірку черняхівської культури другої половини IV – першої половини V ст. н. е. з селища Шишаки, до якої залучено 14 черепів. Визначено, що згідно з середніми значеннями краніометричних ознак чоловічу частину населення можна зарахувати до доліхокранного європеїдного варіанта з вузьким обличчям (за абсолютними розмірами лицьового скелета). Доведено, що чоловіча краніологічна група з Шишаків, за типологічною схемою Т. О. Рудич, опиняється в колі доліхокранного, вузьколицього краніологічного типу, де перебувають черняхівські групи з території Молдови та Західної України. **Висновки.** У результаті порівняння досліджуваної чоловічої групи IV–V ст. н. е. з синхронними серіями території України та діахронними й синхронними групами Центральної і Східної Європи (Литви, Кавказу) та Азії методом багатовимірного канонічного і кластерного аналізу виявлено її подібність до збірної серії Західної України.

Ключові слова: популяція, морфологія, *Homo sapiens*, етнічна антропологія, расознавство.

Вступ

Череп є найважливішим об'єктом для вивчення закономірностей мінливості такого політипічного виду, як *Homo sapiens*. Навіть більше, це одне з основних джерел інформації про диференціацію людських популяцій та мікроеволюційні процеси, що її супроводжують [1,2].

Вивчення морфологічних особливостей давнього населення є важливою ланкою в дослідженні як біологічних процесів, так і розвитку

культурних традицій. Однією з культур Причорномор'я в I тис. н. е. була черняхівська археологічна культура [3]. Її досліджують уже близько ста років, але питання антропологічного складу її населення, мінливості краніологічних ознак залишається дискусійним [3-6]. Велика територія поширення цієї культури зумовила необхідність вивчення регіональних особливостей, що дає змогу виявити місцеві особливості, а також ознаки, характерні для всієї культури [7].

Пам'ятку поблизу селища Шишаки нині Миргородського району Полтавської області відкрив 2009 р. А. В. Гейко [8]. Шишацький могильник датується другою половиною IV – першою половиною V ст. н. е., він є однією з найбільших поховальних пам'яток черняхівської археологічної культури на теренах Дніпровського лісостепоного Лівобережжя [9]. 2012 р. могильник досліджувала експедиція Інституту археології НАН України, було розкопано 30 поховань. Пам'ятка постраждала від діяльності місцевого цегельного заводу, кар'єр якого знищив північний край могильника. Загалом, разом із розкопаними у 2009–2010 рр., досліджено 64 поховання [10,11]. Роботи тривали й 2013 р. [12]. Конструктивні характеристики інгумаційних поховань могильника подано у статті Р. М. Рейди, А. В. Гейка та С. В. Сапегіна 2019 р. [11].

Перші антропологічні дослідження черняхівських пам'яток IV–VI ст. н. е. на Сумщині почали проводити 1989 р. П. М. Покас і Т. О. Рудич [13]. Вони опрацювали порівняно малі групи черепів і скелетів із могильників Сад (7 чоловічих та 2 жіночих) та Боромля (4 чоловічі й 5 жіночих). Загалом, за даними антропологів,

характерними рисами цих черепів є помірно масивне склепіння, мезокранія, вузьке і середньовисоке обличчя [13].

За даними Т. О. Рудич [14], антропологічний аналіз носіїв черняхівської культури України дає змогу говорити про їхню належність до великої європеоїдної раси та неоднорідність. На Лівобережжі панівними генетичними лініями є південна – з пізньоскіфськими серіями та північно-західна – з серіями зі Східної Балтії та вельбарської культури Польщі. Населення регіону змішане. Північно-західний напрямок зв'язків чіткіше проявляється в жіночій серії, де домінують мезодоліхокранні форми з вузьким обличчям і різким профілюванням. Саме вони забезпечують схожість з населенням північно-східних районів вельбарської культури Польщі (Підляшшя-Мазовії та Словінсько-Дравської) та могильників Литви I–IV ст. Північний напрямок зв'язків у жіночій серії можна пояснити тим, що субстратне населення теж мало антропологічні зв'язки з групами балтійського регіону. Низку давніх культур північного Лівобережжя археологи пов'язують із балтським масивом [14,15].

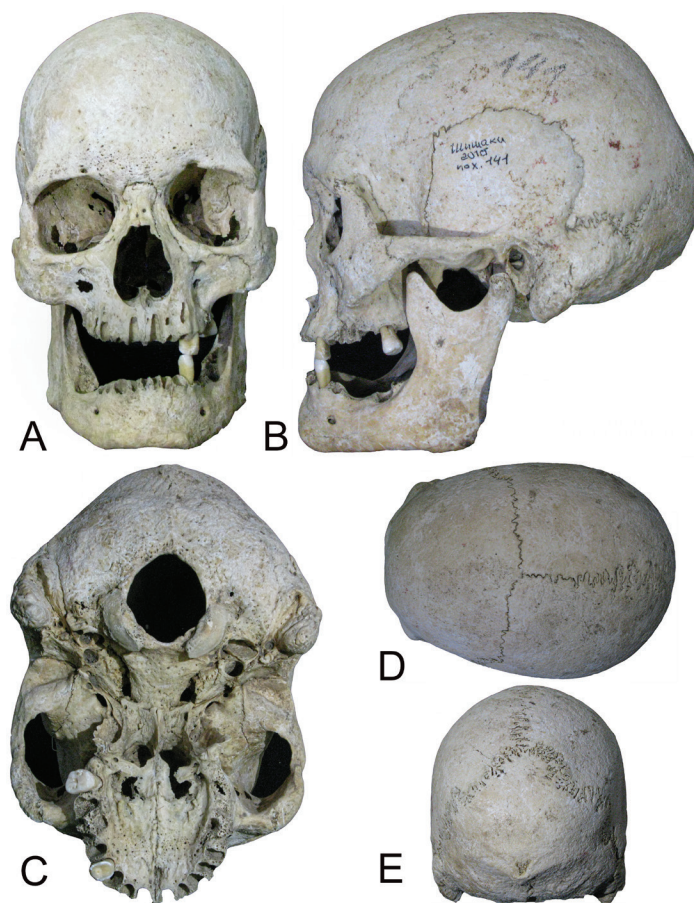


Рис. 1. Доліхокранний череп чоловіка 30–40 років із поховання 141 могильника Шишаки: a – norma facialis; b – norma lateralis; c – norma basilaris; d – norma vertikalis; e – norma occipitalis

За даними етнічної одонтології матеріали черняхівської культури з Лівобережжя Дніпра досліджував С. П. Сегеда [16]. Антрополог окрім поховань із Боромлі (26 черепів) опрацював матеріал із с. Успенка Конотопського району (19 черепів) та с. Сад Сумського району (5 черепів) [17]. Дослідник виділив лівобережний комплекс на матеріалах близьких між собою боромлянської, успенської та садівської серій (50 черепів), надав йому одонтологічну характеристику та підсумував, що таке сполучення ознак властиве представникам східної гілки південного грацильного типу [17].

Після одонтологічних досліджень дев'яти могильників черняхівської культури С. П. Сегеда [17] зазначив, що локальні відмінності дають підстави виділити на території України та Молдови три регіональні комплекси черняхівської культури, а саме: наддніпрянський, лівобережний і дунайсько-дністровський [17].

Мета статті – ввести в науковий обіг новий матеріал, дати загальну характеристику чоловікам черняхівської культури на тлі суміжних етнічних груп України, Литви, Східної Європи та Євразії (діахронний метод), визначити відстані між окремими серіями III ст. до н. е. – V ст. н. е. за допомогою багатовимірного канонічного і кластерного аналізу та з'ясувати місце чоловіків із Шишаків у системі краніологічних типів черняхівської культури з території України; визначити особливості досліджуваної групи за результатами типологізації.

Матеріали та методи

За даними краніометрії автор опрацював 14 чоловічих черепів черняхівської культури. Статеві-вікові визначення скелетних останків

із поховань зроблено комплексно за кількома методиками [18-21] спільно з А. В. Артем'євим. Статеві-вікові визначення зробив і подав у формі наукового звіту А. В. Артем'єв [22]. Ступінь облітерації швів та вік встановлено за схемою Г. В. Валуа [23]. Стертість зубів оцінено за схемою Д. Р. Бротвела [24].

Черепи виміряно безпосередньо в м. Полтаві в приміщенні Центру охорони та досліджень пам'яток археології управління культури Полтавської облдержадміністрації за стандартною краніологічною методикою, згідно з якою нумерацію ознак вказано за Р. Мартіном [25], а назомальний і зигомаксильний кути горизонтального профілювання обличчя вираховано за допомогою номограм [26]. У таблицях лінійні розміри вказано в міліметрах (мм), кути – в градусах.

Міжгруповий багатовимірний аналіз проведено методом канонічного аналізу для порівняння серій [26-29]. Будь-який метод візуалізації відношень у двовимірній проекції викривляє загальну картину, тож О. Г. Козінцев порекомендував розглядати мінімальні статистичні відстані [29], які в нашому випадку подано в табл. 4 для груп, що додає прозорості всьому дослідженню. Всі групи попарно зіставлені за допомогою дистанції D² Махаланобіса з поправкою на чисельність [30,31].

Через обмеження обсягу при публікації матеріалів у табл. 1 наведено індивідуальну характеристику тільки трьох чоловічих черепів.

Чоловіча серія. На сьогодні в нашому розпорядженні опинилася невелика чоловіча серія з 14 черепів із могильника біля селища Шишаки (табл. 2).

Таблиця 1

Індивідуальна краніометрична характеристика окремих чоловічих черепів черняхівської культури могильника Шишаки Миргородського р-ну Полтавської обл.

№ за Мартіном [25]	Рік розкопок та № поховання	Шишаки, поховання 129 2015 р.	Шишаки, поховання 119 2015 р.	Шишаки, поховання 141 2016 р.
ОЗНАКИ				
	Стать	♂ (чоловік)	♂ (чоловік)	♂ (чоловік)
	Вік	25–30	30–40	30–40+
1	Поздовжній діаметр	182,0	182,4	187,6
1в	Поздовжній діаметр від офріона	181,0	178,0	186,0
8	Поперечний діаметр	130,0	144,0	132,0
17	Висотний діаметр <i>basion-bregma</i>	130,0	142,0	139,0
20	Вушна висота <i>porion-porion-bregma</i>	109,3	121,2	114,0
9	Найменша ширина чола	84,0	100,7	90,0
10	Найбільша ширина чола	105,0	121,0	108,0
5	Довжина основи черепа	–	104,0	104,0
11	Ширина основи черепа	113,0	128,5	116,0

Продовження табл. 1

№ за Мартіном [25]	Рік розкопок та № поховання	Шишаки, поховання 129 2015 р.	Шишаки, поховання 119 2015 р.	Шишаки, поховання 141 2016 р.
ОЗНАКИ				
12	Ширина потилиці	101,0	118,0	109,0
29	Лобна хорда	107,0	112,5	108,8
30	Тім'яна хорда	117,0	112,0	115,0
31	Потилична хорда	95,0?	99,0	99,9
23a	Горизонтальна окружність через <i>ofrion</i>	500,0	525,0	510,0
24	Поперечна дуга <i>porion-bregma-porion</i>	312,0	333,0	312,0
25	Сагітальна дуга	—	371,0	373,0
26	Лобна дуга	123,0	125,0	124,0
27	Тім'яна дуга	137,0	126,0	126,0
28	Потилична дуга	—	120,0	123,0
7	Довжина потиличного отвору	—	39,5	35,0
16	Ширина потиличного отвору	—	32,0	31,0
FS	Висота вигину чола	24,0	23,0	26,0
OS	Висота вигину потилиці	28,0?	29,0	31,1
	Надперенісся	2,0	3,0	2,0
	Надбрівні дуги	1,0	2,0	1,6
	Зовнішній потиличний виступ	0,0	1,0	2,0
	Соскоподібний виросток	2,0	3,0	3,0
	Нижній край грушоподібного отвору	<i>anthropina</i>	<i>anthropina</i>	<i>fossae praeasales</i>
	Передньоносова ость (за Брока 1–5)	4,0	5,0	4,0
45	Діаметр вилиць	125,0	134,5	127,0
40	Довжина основи обличчя	—	109,0	98,0
48	Верхня висота обличчя	64,0	70,1	66,0
47	Повна висота обличчя	111,0	—	111,3
43	Верхня ширина обличчя	96,2	108,0	101,5
46	Середня ширина обличчя	95,0	88,0	91,0
60	Довжина альвеолярної дуги	49,8	62,8	53,0
61	Ширина альвеолярної дуги	61,5	64,0	58,8
62	Довжина піднебіння	42,0	54,0	46,0
63	Ширина піднебіння	38,5	41,0	37,5
55	Висота носа	47,3	52,0	51,0
54	Ширина носа	25,5	22,9	24,5
51	Ширина орбіти від <i>mf</i>	41,5	43,0	42,0
52	Висота орбіти	33,5	33,1	33,0
	Бімалярна ширина <i>fmo-fmo</i>	92,4	101,0	96,0
	Висота назіону над <i>fmo-fmo</i>	17,0	21,5	19,0
	Зигомаксильярна ширина <i>zm-zm</i>	95,0	88,0	91,0
	Висота субспінале над <i>zm-zm</i>	24,1	26,0	20,0
SC	Симотична ширина	8,0	8,8	10,0
SS	Симотична висота	5,0	6,0	4,0
MC	Максифронтальна ширина	17,0	18,0	19,0
MS	Максифронтальна висота	8,0	10,0	5,5
DC	Дакріальна ширина	22,0	26,1	24,0
DS	Дакріальна висота	13,0	16,0	11,1
	Глибина іклової ямки	–2,0	–6,0	–5,0
	Ширина виличної кістки	52,0	59,0	50,0
	Висота вигину виличної кістки	8,8	6,0	12,0

Закінчення табл. 1

№ за Мартіном [25]	Рік розкопок та № поховання	Шишаки, поховання 129 2015 р.	Шишаки, поховання 119 2015 р.	Шишаки, поховання 141 2016 р.
ОЗНАКИ				
77	Назomlaрний кут	139,3°	133,5°	136,5°
Zm'	Зигомасиллярний кут	126,0°	118,6°	132,0°
Tg 77	Назomlaрний кут	2,718	2,349	2,526
Tg Zm	Зигомасиллярний кут	1,971	1,692	2,275
32	Кут профілю чола від n	–	–	90,0°
	Кут від gl	–	–	85,0°
72	Кут загальнолицьовий	–	–	85,0°
73	Кут середньої частини лицьовий	–	–	90,0°
74	Кут альвеолярної частини обличчя	–	–	65,0°
75	Кут нахилу лицьових кісток	–	–	78,0°
75(1)	Кут випинання носа	32,0°	34,0°	7,0°
Індекси				
8:1	Черепний	71,4	78,9	70,4
17:1	Висотно-поздовжній I	71,4	77,9	74,1
17:8	Висотно-поперечний I	100,0	98,6	105,3
20:1	Висотно-поздовжній II	60,1	66,4	63,1
20:8	Висотно-поперечний II	84,1	84,2	86,4
9:10	Лобний	80,0	83,2	83,3
10:8	Коронарно-поперечний	80,8	84,0	81,8
9:8	Лобно-поперечний	64,6	69,9	68,2
47:45	Лицьовий індекс	88,8	–	87,6
48:45	Верхньолицьовий	51,2	52,1	52,0
48:17	Вертикальний фаціо-церебральний	49,2	49,4	47,5
40:5	Випинання обличчя	–	104,8	94,2
45:8	Горизонтальний фаціо-церебральний	96,2	93,4	96,2
9:45	Лобно-вильний	67,2	74,9	70,9
52:51	Орбітний	80,7	77,0	78,6
54:55	Носовий	53,9	44,0	48,0
DS:DC	Дакріальний	59,1	61,3	46,3
SS:SC	Симотичний	62,5	68,2	40,0
MS:MC	Максифронтальний	47,1	55,6	28,9
63:62	Піднебінний індекс	91,7	75,9	81,5
61:60	Щелепно-альвеолярний	123,5	101,9	110,9
10:45	Лобно-вильний	84,0	90,0	85,0
Нижня щелепа				
C'	Кут випинання підборіддя	–	–	71,0°
68(1)	Довжина нижньої щелепи від виростків	113,0	–	110,0
79	Кут гілки нижньої щелепи	120,0	–	109,0
68	Довжина нижньої щелепи від кутів	89,0	–	91,0
70	Висота гілки нижньої щелепи	50,0	–	72,0
71a	Найменша ширина гілки	32,0	–	109,0
65	Виросткова ширина	113,0	–	110,1
66	Ширина між кутами нижньої щелепи	96,0	–	101,0
67	Передня ширина нижньої щелепи	46,0	–	44,0
69	Висота симфізу нижньої щелепи	31,0	–	30,5
69(1)	Висота тіла нижньої щелепи	30,5	–	30,0
69(3)	Товщина тіла нижньої щелепи	10,5	–	11,1

Таблиця 2

Середні величини розмірів чоловічих черепів IV–V ст. н. е. з могильника черняхівської культури в селищі Шишаки Шишацького р-ну Полтавської обл.

№ за Мартіном	Ознаки	Чоловіки (♂)						
		M	n	σ	m(M)	ms	min	max
1	Поздовжній діаметр	185,6	10	2,7**	0,86	0,61	182,0	190,0
8	Поперечний діаметр	135,6	10	6,5*	2,05	1,45	126,0	146,0
17	Висотний діаметр	138,3	7	7,8*	2,96	2,09	127,0	147,0
5	Довжина основи черепа	105,5	4	3,7**	1,85	1,31	103,0	111,0
9	Найменша ширина лоба	95,8	14	6,6*	1,76	1,24	84,0	108,0
10	Найбільша ширина лоба	116,0	11	8,2*	2,46	1,74	105,0	128,0
11	Ширина основи черепа	120,9	9	6,3*	2,10	1,48	112,0	128,5
12	Ширина потилиці	108,2	11	7,0*	2,10	1,49	99,0	118,0
45	Виличний діаметр	128,1	9	4,4**	1,47	1,04	121,5	134,5
40	Довжина основи обличчя	103,3	3	5,5*	3,18	2,25	98,0	109,0
48	Верхня висота обличчя	64,9	8	3,2**	1,15	0,81	59,0	70,1
47	Повна висота обличчя	112,6	5	3,0**	1,34	0,95	110,0	117,6
43	Верхня ширина обличчя	102,1	9	4,7*	1,57	1,11	94,0	108,0
46	Середня ширина обличчя	91,6	6	2,3**	0,95	0,67	88,0	95,0
55	Висота носа	49,9	8	2,0**	0,70	0,49	47,0	52,0
54	Ширина носа	24,4	10	1,5**	0,47	0,33	22,0	27,0
51	Ширина орбіти	41,9	8	1,4**	0,49	0,35	40,0	44,0
52	Висота орбіти	32,5	8	1,6**	0,58	0,41	30,0	34,0
20	Вушна висота	115,1	8	5,0*	1,78	1,26	108,5	122,2
SC (57)	Симотична ширина	4,7	7	0,8**	0,28	0,20	4,0	6,0
SS	Симотична висота	18,4	7	1,9*	0,72	0,51	16,0	22,0
MC (50)	Максилофронтальна ширина	18,4	7	1,9	0,72	0,51	16,0	22,0
MS	Максилофронтальна висота	7,5	7	1,5	0,57	0,40	5,5	10,0
DC (49a)	Дакріальна ширина	24,2	7	2,4*	0,90	0,63	20,5	27,1
DS	Дакріальна висота	13,4	7	1,7*	0,64	0,45	11,1	16,0
FC	Глибина іклової ямки	-4,2	6	1,0	0,42	0,30	-3,0	-8,0
75(1).	Кут випинання носа	25,3°	6	9,6*	3,91	2,77	7,0°	34,0°
77.	Назомаллярний кут	134,2°	9	4,2	1,40	0,99	125,8°	139,3°
P	Зигомаксиллярний кут	122,5°	8	4,9**	1,74	1,23	118,3°	132,0°
	Надперенісся	2,0	14	0,4	0,13	0,10	1,2	3,0
	Надбрівні дуги	1,4	10	0,4	0,12	0,09	1,0	2,0
23a	Горизонтальна окружність через офріон	514,8	4	12,0**	5,99	4,24	500,0	525,0
Індекси								
8:1	Черепний	72,9	10	3,5*	1,11	0,79	68,8	78,9
17:1	Висотно-поздовжній	74,5	7	4,3*	1,61	1,14	68,3	79,0
17:8	Висотно-поперечний	101,3	7	3,0**	1,13	0,80	98,6	105,8
9:8	Лобно-поперечний	69,8	10	4,8*	1,50	1,06	64,0	78,9
20:1	Висотно-поздовжній	61,3	6	2,7	1,10	0,78	58,4	65,7
20:8	Висотно-поперечний	84,8	6	1,9**	0,78	0,55	82,3	87,6
10:8	Коронарно-поперечний	85,8	8	3,7*	1,30	0,92	80,8	89,8
9:10	Широтний лобний	81,5	9	3,4	1,13	0,80	76,7	87,8
45:8	Поперечний фаціо-церебральний	93,9	9	1,7**	0,56	0,40	91,8	96,2
48:17	Вертикальний фаціо-церебральний	48,8	5	2,9**	1,29	0,91	44,9	52,8
9:45	Лобно-виличний	73,8	9	5,2*	1,73	1,23	67,2	83,1
10:45	Коронарно-виличний	90,8	7	4,9*	1,86	1,32	84,0	96,1
40:5	Випинання обличчя	99,7	3	5,3*	3,06	2,17	94,2	104,8
47:45	Загальний лицьовий	89,2	5	1,6**	0,71	0,50	87,6	91,1
48:45	Верхній лицьовий	51,3	7	2,2**	0,84	0,60	48,1	55,1
54:55	Носовий	49,0	8	4,6*	1,63	1,15	44,0	55,1
DS:DC	Дакріальний	55,1	6	9,6*	3,94	2,78	44,3	68,3
SS:SC	Симотичний	51,4	6	13,6*	5,56	3,91	38,5	70,0
MS:MC	Максилофронтальний	39,4	6	10,2	4,15	2,94	28,9	55,0
52:51	Орбітний	77,7	8	4,3**	1,51	1,07	69,8	82,9
63:62	Піднебінний	82,5	7	5,7**	2,15	1,52	75,5	91,7
61:60	Щелепно-альвеолярний	117,6	7	5,8**	2,19	1,55	110,9	123,5

M – середня арифметична величина; **n** – кількість випадків; **σ** – середнє квадратичне відхилення; **m (M)** – похибка середньої арифметичної величини; **ms** – похибка середнього квадратичного відхилення; * – перевищує стандартні величини середнього квадратичного відхилення; ** – менше за стандартні величини середнього квадратичного відхилення.

Результати та обговорення

Характерними рисами цієї групи, яку археологи датували другою половиною IV – першою половиною V тис. н. е. [9,10], в середньому є грацильність, велика довжина, мала ширина та велика висота мозкової частини черепа [26]. Загалом за поперечно-поздовжнім індексом (72,9) серія доліхокранна. У ній виявлено два мезокранних та вісім доліхокранних черепів. Трьом черепам (із поховань 10, 118, 151) не вдалося встановити індекс, оскільки вони дуже фрагментовані. Висотний діаметр мозкової частини черепа великий. Вушна висота помірна, а довжина основи черепа велика. Лоб помірно широкий.

Чоловічі черепи мають малий діаметр вилиць (128,1 мм) і дуже малу верхню висоту обличчя (на межі з малими категоріями розмірів), тому верхньо-лицьовий індекс (51,3) указує на помірно широке обличчя загалом (мезен). Вертикальний профіль обличчя вимірюний тільки на одному черепі, і він ортогнатний (із поховання 141). Горизонтальне профілювання обличчя дуже різке як на верхньому, так і на середньому рівнях (табл. 2).

Мала висота й помірна ширина орбіт зумовлюють середній орбітний індекс (77,7), що вказує на помірно високі орбіти (мезоконхія). Носовий отвір чоловічої серії має малу ширину (на межі з середніми категоріями розмірів) та малу висоту, носовий індекс (49,0) свідчить про помірну ширину носа (мезоринія). За світовим масштабом чоловіча серія характеризується середнім випинанням носових кісток щодо лінії вертикального профілю обличчя (25,3°). Перенісся помірно високе за симотичним і високе за дакріальним індексом (табл. 2).

Для встановлення рівня однорідності чоловічої вибірки спочатку було вираховано середні квадратичні відхилення краніологічних ознак і їхніх індексів. За межею середніх стандартних величин опинилися 45 із 49 ознак (91,8 %) та їхніх індексів, які перевищують квадратичні відхилення, а це вказує на те, що серія неоднорідна (табл. 2).

У результаті зіставлення досліджуваної чоловічої групи з краніологічними типами черняхівської культури [14] виявлено її належність до доліхокранного, вузьколицього типу, до якого належать вибірки із Заходу України і Молдови. Перевірити цю подібність можна, застосувавши міжгруповий багатовимірний канонічний аналіз.

Міжгруповий багатовимірний канонічний аналіз. Для синхронного порівняння чоловічої вибірки з могильника біля селища Шишаки і виявлення основних напрямів її морфологічних зв'язків було залучено низку чоловічих серій I–V ст. н. е., до яких входять представники

черняхівської культури як із території сучасної України, так і з Молдови, Вірменії, Ічкерії, Азербайджану, Литви та РФ: 1) збірна група черняхівської культури Північного Причорномор'я, яка, за Т. О. Рудич, складається з таких могильників: Нагорне II, Холмське, Біленьке, Городок, Каборга, Коблеве, Вікторівка, Кам'янка-Анчекрак, Ранжеве, Гаврилівка [14]; 2) сумарна серія із Заходу України III–V тис. н. е., куди, за даними Т. О. Рудич, зібрані 23 черепи з могильників: Романове Село, Романківці, Чистилів, Чернелів-Руський, Петриківці, Біла [14]; 3) збірна група черняхівської культури Центру України, яка, за Т. О. Рудич, складається з таких серій: Дерев'яна; Маслово; Журівка, Велика Бугаївка, Косаново, Курники, Ромашки, Телешівка, Черкаси-Центр, Черняхів [14]; 4) збірна група черняхівської культури Лівобережної України, за Т. О. Рудич, – Боромля, Кантемирівка, Лохвиця, Сад-Суми, Соснова, Успенка [14]; 5) могильники межиріччя Південного Бугу та Тилігулу. Черепи з цієї території, за Т. О. Рудич, представлені з могильників: Коблеве, Ранжеве, Каборга, Кам'янка-Анчекрак, Вікторівка [14]; 6) Завітне в Криму, I ст. до н. е. – III ст. н. е. [32,33]; 7) Золота балка II–IV ст. н. е. на Нижньому Дніпрі [34]; 8) таври Криму IX–V ст. до н. е. [35,36]; 9) Херсонес I–IV ст. н. е. [35]; 10) Керченський півострів, із некрополів грецьких міст-колоній [37]; 11) Беляус II ст. до н. е. – I ст. н. е. [38]; 12) Золоте [38]; 13) Мінгечаур I–VII ст. н. е. черепи VI періоду, без деформації (сармато-алани та місцеве населення) [39]; 14) Нижньогнилівський могильник [40]; 15) Кобяківський могильник [40]; 16) Танаїс (Дон) рубікон н. е. – III ст. н. е. [40]; 17) Фанагорія, III ст. до н. е. – IV ст. н. е. [37,41]; 18) Калали-Гир-1, II–III ст. н. е. [42]; 19) провінція Ширак-1 у Вірменському нагір'ї (сільські поселення) [43]; 20) Ширак-2 (Беніамін) [43]; 21) Миколаївка Козацька [44]; 22) Неаполь Скіфський II ст. до н. е. – перша половина III ст. н. е. [45]; 23) Беслан, збірна група III – першої половини V ст. н. е. (Братські перші кургани, Октябрський-1, Київський-1, Бесланський могильник) [46]; 24) Північний Кавказ [47]; 25) сармати-1, друга половина II–IV ст. н. е. сумарні групи [48,49]; 26) сармати-2, Дон, без деформації, пізні [50]; 27) Калали-Гир-1, II–III ст. н. е. Осуарії [42]; 28) аукштайти II–IV ст., до якої входять чоловічі черепи з могильників Ейгулай, Вершвай та Саргенай [50]; 29) Центральна Литва II–V ст. [51]; 30) культура курганів Литви II–V ст. [51]; 31) ятвяги [51]; 32) Чорноріченський могильник [32]; 33) сармати України [52]; 34) ґрунтовий могильник тесинської культури Каменка III, II ст. до н. е. – I ст. н. е. [53].

Для багатовимірного міжгрупового синхронного порівняння досліджуваної групи залучено 35 чоловічих серій (табл. 3), такі 13 ознак та один індекс: поздовжній, поперечний і висотний діаметри черепа від поріонів (*po*), найменша ширина лоба, виличний діаметр, висота обличчя, висота й ширина орбіт, висота та ширина носа, назомалярний і зигмаксилярний кути, симотичний індекс та кут випинання носа.

За I канонічним вектором (КВ) (28,2 % загальної дисперсії) серія з Шишаків (рис. 1, табл. 4) отримує великі від'ємні значення вектора (-1,531). За цим КВ простежується її близькість до серії чоловічих черепів із черняхівських могильників західного регіону України (-1,445) та певною мірою до збірної групи з Центральної Литви II–V ст. (-1,497), яку створив Г. А. Чесніс [51]. На розподіл чоловічих серій за цим КВ найбільше вплинули такі краніометричні ознаки: поздовжній, поперечний і висотний діаметр мозкової частини черепа, найменша ширина чола, виличний діаметр, висота обличчя, орбіт, носа, ширина носа та зигмаксилярний кут (табл. 4).

За II КВ (19,7 % загальної дисперсії) досліджувана група отримує великі додатні значення вектора (1,439). Спостерігається її повторна подібність (рис. 1, 2) до вибірки чоловічих черепів із черняхівських могильників західного регіону України (1,387). На розподіл серій у координатному полі найбільш значущою виявилася тільки одна ознака: кут випинання носових кісток (від'ємні значення).

За III КВ (14,0 % загальної дисперсії) чоловіча вибірка з Шишаків із помірними від'ємними значеннями вектора (-0,850) схожа на вибірку пізніх скіфів із Миколаївки Козацької (-0,855) та меншою мірою – на збірну черняхівську серію Центральної України (-0,655) (рис. 3, 4, табл. 3). У розподілі серій найбільш значущими за цим КВ виявилися ширина орбіт, назомалярний кут та симотичний індекс (табл. 4). На значному внеску населення пізньоскіфських пам'яток у формування населення черняхівської культури Причорномор'я наголошувала Т. О. Рудич [15].

Загалом, після багатовимірного канонічного аналізу виявлено подібність досліджуваної чоловічої групи з Шишаків до збірної серії Заходу України.

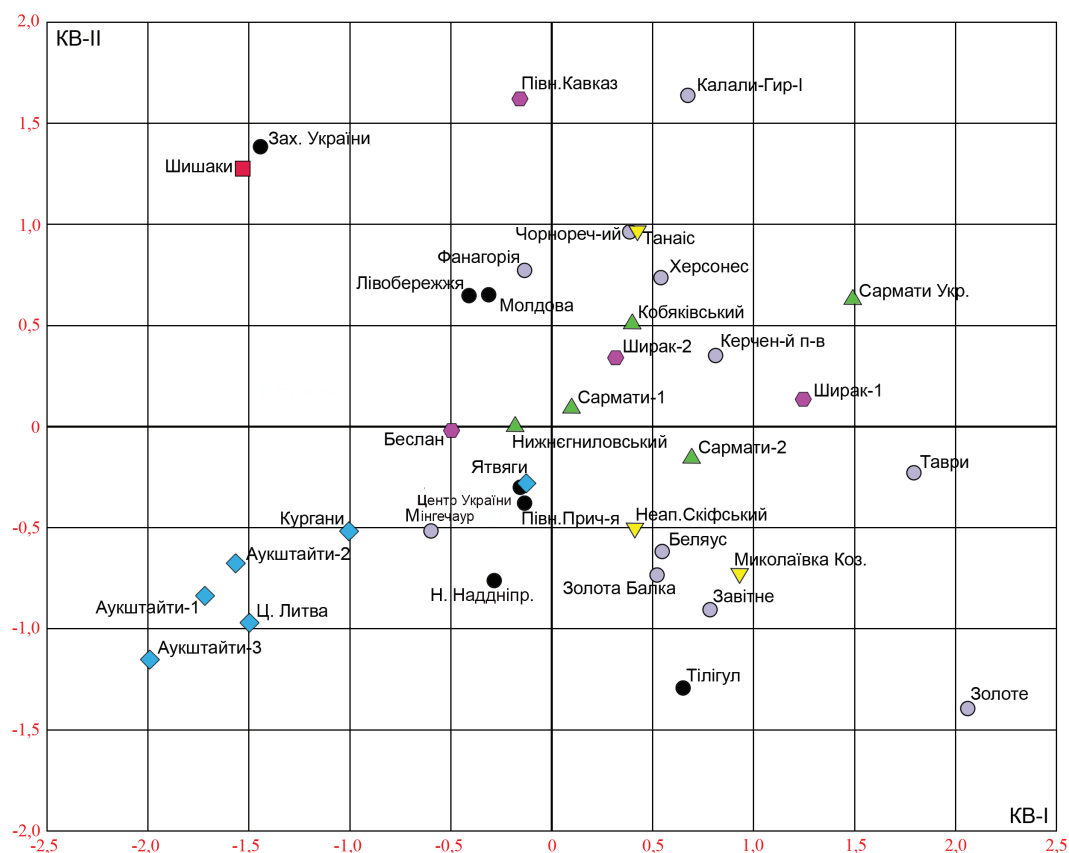


Рис. 2. Зіставлення 35 чоловічих груп I–V ст. з території Східної Європи, Кавказу й Азії методом канонічного аналізу в просторі I та II КВ за 13 краніометричними ознаками та одним індексом. Тилігул – могильники межиріччя Південного Бугу та Тилігулу

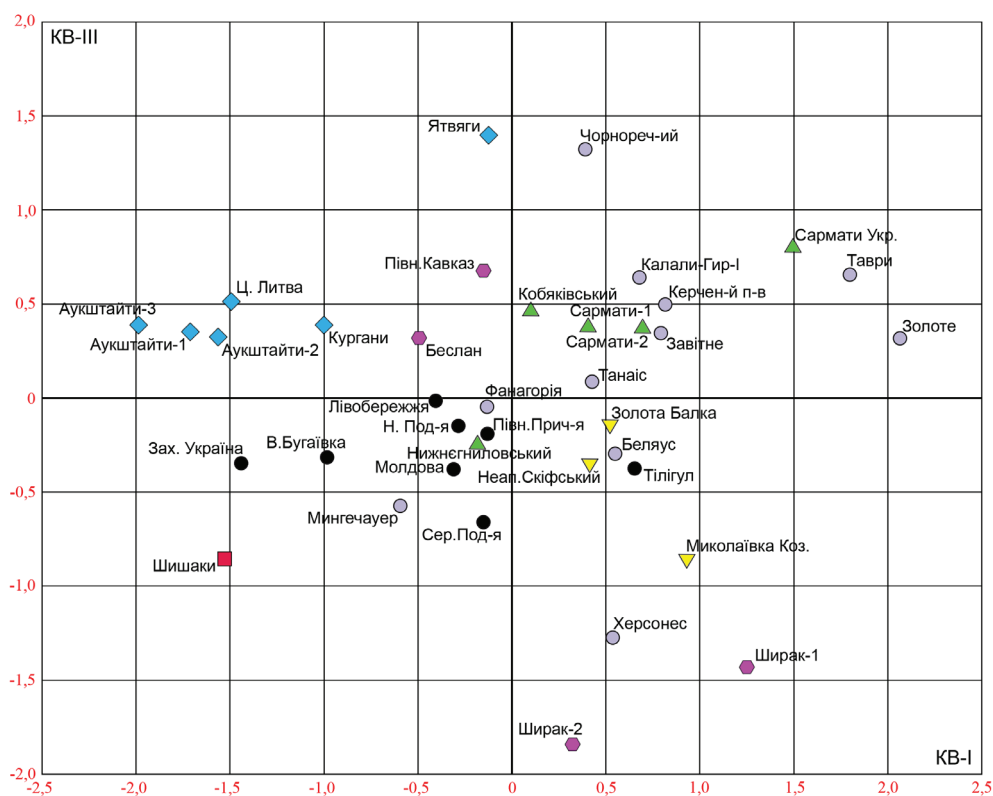


Рис. 3. Зіставлення 35 чоловічих груп I–V ст. зі Східної Європи, Кавказу й Азії методом канонічного аналізу в просторі I та III KB за 13 краніометричними ознаками та одним індексом

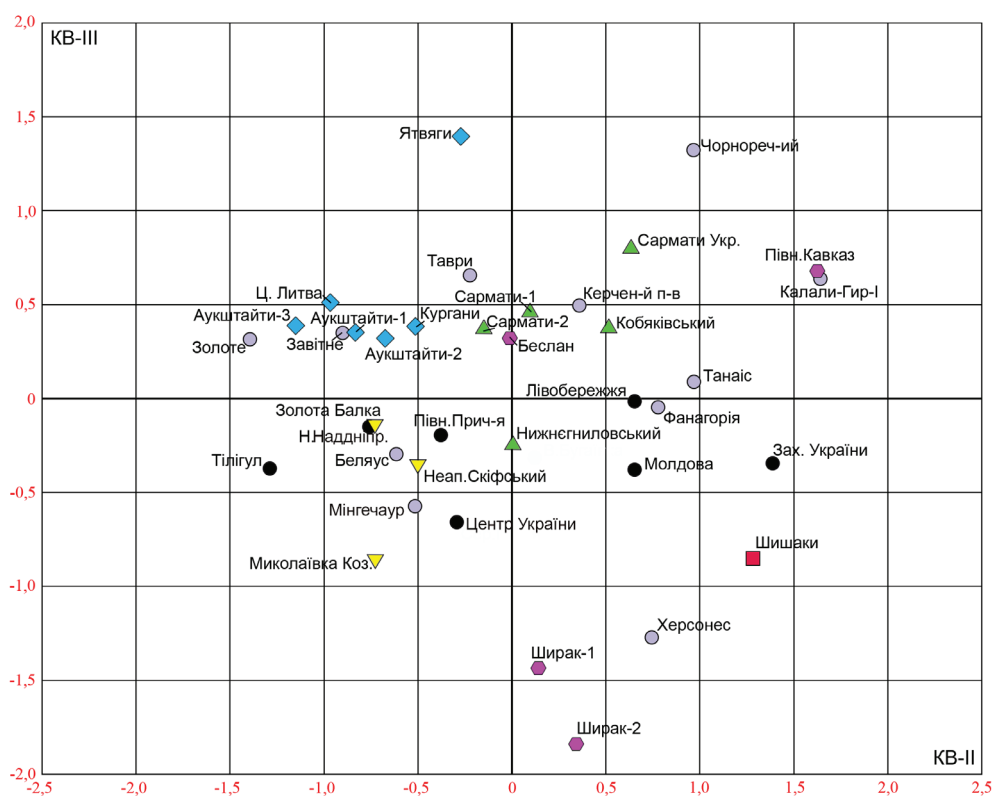


Рис. 4. Зіставлення 35 чоловічих груп I–V ст. зі Східної Європи, Кавказу й Азії методом канонічного аналізу в просторі II та III KB за 13 краніометричними ознаками та одним індексом

Таблиця 3

Значення трьох КВ для 35 чоловічих груп черняхівської культури та синхронних серій з території Східної Європи, Кавказу та Азії (дистанція між серіями)

№ з/п	Групи	I КВ	II КВ	III КВ
1	Шишаки Шишацького р-ну Полтавської обл. (Центральна Україна)	-1,531	1,281	-0,850
2	Черняхівська культура Молдови	-0,315	0,654	-0,375
3	Черняхівська культура Центру України	-0,159	-0,294	-0,655
4	Черняхівська культура Заходу України III–V ст. н. е.	-1,445	1,387	-0,343
5	Черняхівська культура Лівобережної України	-0,408	0,654	-0,013
6	Черняхівська культура Північного Причорномор'я	-0,137	-0,378	-0,190
7	Черняхівські могильники межириччя Південного Бугу та Тилігулу	0,647	-1,289	-0,371
8	Золота балка II–IV ст. н. е. (пізні скіфи на Нижньому Дніпрі)	0,519	-0,730	-0,137
9	Завітне в Криму	0,784	-0,901	0,352
10	Фанагорія III ст. до н. е. – IV ст. н. е.	-0,136	0,777	-0,043
11	Таври Криму IX–V ст. до н. е.	1,791	-0,223	0,658
12	Керченський півострів	0,810	0,358	0,498
13	Херсонес I–IV ст. н. е.	0,537	0,743	-1,266
14	Золоте	2,056	-1,392	0,321
15	Мінгечаур, черепи VI періоду (сармато-алани та місцеве населення). Азербайджан	-0,599	-0,514	-0,570
16	Танаїс (Дон) рубікон н. е. – III ст. н. е.	0,422	0,968	0,092
17	Провінція Ширак-1. I–III ст. н. е. (сільські поселення у Вірменському нагір'ї)	1,243	0,139	-1,429
18	Провінція Ширак-2. I–III ст. н. е. (Беніамін у Вірменському нагір'ї)	0,317	0,343	-1,836
19	Беслан. Чеченська республіка (Ічкерія), збірна серія III – першої половини V ст. н. е.	-0,496	-0,013	0,322
20	Північний Кавказ	-0,155	1,625	0,682
21	Кобяківський р-н. I–III ст. н. е. (сармати)	0,399	0,512	0,379
22	Нижньогнілівський могильник (сармати)	-0,185	0,004	-0,244
23	Сармати-1, друга половина II–IV ст. н. е. сумарні групи без деформації	0,098	0,096	0,463
24	Сармати-2, Дон, без деформації, пізні	0,691	-0,151	0,374
25	Калали-Гир-1, II–III ст. н. е.	0,673	1,641	0,640
26	Беляус, II ст. до н. е. – I ст. н. е.	0,545	-0,614	-0,294
27	Аукштайти II–IV ст. (могильники Ейгулай, Вершвай та Саргенай)	-1,717	-0,834	0,354
28	Центральна Литва II–V ст.	-1,497	-0,966	0,515
29	Культура курганів Литви II–V ст.	-1,003	-0,514	0,385
30	Ятвяги	-0,129	-0,276	1,401
31	Сармати України	1,490	0,632	0,802
32	Миколаївка Козацька	0,927	-0,727	-0,855
33	Неаполь Скіфський II ст. до н. е. – перша половина III ст. н. е.	0,409	-0,502	-0,347
34	Чорноріченський могильник	0,383	0,966	1,325
35	Ґрунтовий могильник тесинської культури Каменка III. II ст. до н. е. – I ст. н. е.	0,430	0,603	0,154

За даними Т. О. Рудич [15,54], в середньому вияві для сумарної серії чоловічих черепів із черняхівських могильників західного регіону характерні доліхокранія та високий мозковий відділ черепа. Обличчя вузьке, на всіх рівнях, низьке на межі з середньовисоким, за верхньоліцевим показником мезен, мезогнатне.

Горизонтальне профілювання обличчя різке [15]. Також дослідниця виявила, що в черняхівських серіях цього регіону переважає західний напрямок морфологічних зв'язків, передовсім з групами вельбарської культури Польщі (особливо масломенської групи). У чоловічій серії домінує доліхокранний, з довгою, високою

Таблиця 4

Елементи перших трьох КВ для 35 чоловічих серій

Ознака	чоловіки (♂)		
	КВ 1	КВ 2	КВ 3
1. Поздовжній діаметр	-0,479	-0,325	-0,320
8. Поперечний діаметр	0,667	0,246	0,375
17. Висотний діаметр (<i>b-br</i>)	-0,752	0,317	0,182
9. Найменша ширина лоба	0,241	-0,072	0,110
45. Виличний діаметр	0,631	-0,256	0,600
48. Верхня висота обличчя	0,433	-0,207	0,174
55. Висота носа	0,372	0,315	0,127
54. Ширина носа	0,340	-0,203	0,087
51. Ширина орбіти	-0,149	0,063	0,666
52. Висота орбіти	0,610	0,279	-0,392
77. Назомалярний кут	0,141	0,257	0,513
P	0,432	0,291	0,028
SS:SC. Симотичний індекс	0,158	0,186	-0,272
75 (1). Кут випинання носа	0,399	-0,791	0,228
Внесок у загальну дисперсію (%)	28,262	19,731	14,058

мозковою частиною черепа та вузьким обличчям, морфотип, що має генетичні витоки в давніх культурах Центральної Європи (в західних регіонах поширені лінійно-стрічкова, шнурова, унетицька, кновізерська культури, а в більш хронологічно близький час у районах поширена латенська культура, яку пов'язують передовсім із кельтами). На могильниках фіксують також черепи з доліхокранною, але невеликою за розмірами мозковою частиною черепа, вузьким (але з тенденцією до середньоширокого) обличчям, які мають паралелі на черняхівських могильниках Молдови, належать до середземноморського кола та, найімовірніше, за Т. О. Рудич, пов'язані з фракійсько-дакійським населенням. Виділяється невелика група населення з великими розмірами мозкового відділу черепа та широким обличчям, яка має аналогії в серіях Східної Балтії II–V ст. [15].

Висновки

Виявлено, що чоловічі черепи з могильника в селищі Шишаки, які археологи датують другою половиною IV – першою половиною V ст. н. е., в середньому мають доліхокранну, високу мозкову частину черепа. Лоб середньоширокий. Вибірка вузьколиця, різко профільована. Ніс середній. Особливістю їхньої морфології є дуже мала висота обличчя. Загалом за двома методиками вона європеїдна без монголоїдної домішки та на першому етапі дослідження неоднорідна.

За результатами зіставлення досліджуваної чоловічої групи IV–V ст. н. е. з краніологічними типами черняхівської культури виявлено належність її до доліхокранного, вузьколицького типу, до якого належать вибірки із Заходу України та з Молдови.

Загалом, після багатовимірної канонічної аналізу, за даними краніометрії встановлено західний напрямок зв'язків, що простежується в подібності досліджуваної чоловічої групи з Шишаків до збірної черняхівської серії із Заходу України III–V ст. н. е., що підтверджує наше припущення і за типологією.

Перспективи подальших досліджень убачаємо у створенні збірної чоловічої та жіночої вибірки Лівобережної України черняхівської культури, до якої увійде і група з Шишаків, та порівнянні її з іншими краніологічними серіями як України, Молдови, країн Балтії, так і з азійськими групами за описаними 13 ознаками та одним індексом. Щодо присутності германців у складі населення культури якісне порівняння з германськими серіями бажано проводити тільки після вимірювання у них назомалярного і зігомаксиллярного кутів, симотичного індексу та кута випинання носа, оскільки порівняння за короткою програмою залишає багато запитань.

Подяки. Щиро дякую О. Б. Супруненьку, В. В. Шерстюку та А. В. Артем'єву за наданий краніологічний матеріал для дослідження та консультації.

Список літератури

1. Бунак ВВ. Череп человека и стадии его формирования у ископаемых людей и современных рас. Москва: Издательство АН; 1959. 283 с.
2. Федорчук ОА. Методические аспекты соотносительной изменчивости измерительных признаков черепа человека [диссертация]. Москва; 2022. 275 с.
3. Магомедов БВ. Черняховская культура Северо-Западного Причерноморья. Киев: Наукова думка; 1987. 111 с.
4. Щукин МБ. Готский путь (готы, Рим и Черняховская культура). Санкт-Петербург: Филологический факультет; 2005. 592 с.
5. Рудич ТО. Антропологичний склад населення черняхівської культури Північного Причорномор'я. Археологія. 2010;4: 19-32.
6. Гудкова АВ. Черняховская культура. У: Давні культури Північно-Західного Причорномор'я. Матеріали з археології Північного Причорномор'я. Одеса; 2013. с. 629-58.
7. Штогрін ВВ. Морфологічна мінливість черепа Homo sapiens із могильника Біленьке [дипломна робота на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»]. Одеса; 2019. 80 с.
8. Гейко АВ. Розкопки могильника черняхівської культури Шишаки у 2009 р. Археологія і давня історія України. 2010;4:222-5.
9. Гейко АВ, Рейда РМ, Сапегін СВ. Науково-рятивні розкопки Шишацького могильника. У: Старожитності Лівобережного Подніпров'я – 2016. Київ: Центр пам'яткознавства НАН України і УТОПІК; 2016. с. 140-9.
10. Гейко АВ, Рейда РМ, Сапегін СВ. Дослідження Шишацького могильника. У: Археологічні дослідження в Україні 2017 р. Київ: ІА НАН України; 2019. с. 193-4.
11. Рейда РМ, Гейко АВ, Сапегін СВ. Поховання з «платоу Харону» з Шишацького могильника черняхівської культури. Археологія. 2014;1:97-103.
12. Рейда РМ, Гейко АВ, Сапегін СВ. Дослідження могильника черняхівської культури в смт. Шишаки. У: Археологічні дослідження в Україні 2012 р. Київ: ІА НАН України; 2013. с. 212-3.
13. Покас ПМ, Рудич ТА. Население территории Сумщины в V–VI веках по данным палеоантропологии. У: Проблемы археологии Сумщины. Тез. докл. обл. науч.-практич. конф. Сумы; 1989. с. 63-4.
14. Рудич ТО. Населення черняхівської культури України за матеріалами антропології [диссертация]. Київ. 2005.
15. Рудич ТА. Население черняховской культуры Украины. Антропологический аспект. Сучасні проблеми археології. 2002;2:199-201.
16. Segeda S. Dental Data as a Source of Ethnogenetic Information based on Material from the Culture of the Chernyakhivsk. Variability and Evolution. 1994;4:29-34.
17. Серета СП. Антропологичний склад населення черняхівської культури: одонтологічний аспект. Магістеріум. Археологічні студії. 2001;6:30-36.
18. Ubelaker DN. Human Skeletal Remains: Excavation, Analysis, Interpretation. Albine Manuals on Archaeology. 3rd ed. Chicago; 1989. 116 p.
19. Buikstra J, Ubelaker D. Standards for Data Collection from Human Skeletal Remains. Arkansas Archeological Survey Research Series. 1994;44:206.
20. Bruzek J. A Method for Visual Determination of Sex, Using the Human Hip Bone. American Journal of Physical Anthropology. 2002;117(2):157-68.
21. Bruzek J, Santos F, Dutailly B, Murail P, Cunha E. Validation and Reliability of the Sex Estimation of the Human os coxae Using Freely Available DSP2 Software for Bioarchaeology and Forensic Anthropology. Am J Phys Anthropol. 2017 Oct;164(2):440-9. doi: 10.1002/ajpa.23282
22. Артем'єв АВ. Еволюційні особливості розвитку захворювань на карієс зубів у людини [автореферат дисертації]. Полтава; 2012. 20 с.
23. Vallois HV. La durée de la vie chez l'homme fossile. L'Anthropologie. 1937;47:499-532.
24. Brothwell DR. Digging up Bones. London; 1972. 194 p.
25. Martin R. Lehrbuch der Anthropologie. In systematischer Darstellung. Mit besonderer Berücksichtigung der anthropologischen Methoden für Studierende, Ärzte und Forschungsreisende. Zweite, vermehrte Auflage. Jena: Gustaf Fischer. Bd. II: Kraniologie, Osteologie Mit 281 Abbildungen im Text. 1928. 1062 S.
26. Алексеев ВП, Дебеч ГФ. Краниометрия. Методика антропологических исследований. Москва: Наука; 1964. 127 с.
27. Дерябин ВЕ. О методах многомерного таксономического анализа в антропологии. Вестник антропологии. 1998;4:30-68.
28. Дерябин ВЕ. Курс лекций по многомерной биометрии для антропологов. Москва: МГУ; 2008. 332 с.
29. Козинцев АГ. Как быть, если старые статистические программы несовместимы с новыми компьютерами? [Интернет]. 2016. Доступно на: <https://cutt.ly/mkQfSXp>
30. Rightmire GP. Brain size and encephalization in Early to Mid-Pleistocene Homo. Am J Phys Anthropol. 2004 Jun;124(2):109-23. doi:10.1002/ajpa.10346
31. Козинцев АГ. Скифы северного Причерноморья: межгрупповые различия, внешние связи, происхождение. Археология, этнография и антропология Евразии. 2007;4(32):143-57.
32. Зіневич ГП. До антропології могильника біля с. Завітне в Криму. Матеріали з антропології України. 1971;5:111-21.
33. Зіневич ГП. Антропологические материалы средневековых могильников юго-западного Крыма. Киев: Наукова думка; 1973.
34. Кондукторова ТВ. Пізні скифи на Нижньому Дніпрі (за антропологічними матеріалами золотобалківського могильника). Матеріали з антропології України. 1971;5:60-72.
35. Назарова ТА. Населення Херсонеса в I–XIV ст. за антропологічними даними [диссертация]. Київ; 2002. 262 с.
36. Иванов АВ. Приложение к статье «Население эллинистического Херсонеса по данным антропологии». Херсонесский сборник. 2012;17:37-46.
37. Герасимова ММ, Рудь НМ, Яблонский ЛТ. Антропология античного и средневекового населения Восточной Европы. Москва: Наука; 1987. 251 с.
38. Кондукторова ТС. Антропологическая характеристика погребенных из боспорского могильника у с. Золотое. У: Корпусова ВН. Некрополь Золотое (к этнокультурной истории европейского Боспора). Киев: Наукова думка; 1983. с. 163-74.
39. Касимова РМ. Антропологические исследования черепов из Мингечаура. Баку: АН АЗССР; 1960. 134 с.
40. Батиева ЕФ. Население Нижнего Дона в IX в. до н. э. – IV в. н. э. (палеоантропологическое исследование). Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН; 2011. 160 с.
41. Герасимова ММ. Краніологічні матеріали з античної Фанагорії. Матеріали з антропології України. 1971;5:55-9.
42. Гинзбург ВВ, Трофимова ТА. Палеоантропология Средней Азии. Москва: Наука; 1972. 370 с.
43. Худавердян АЮ, Оганесян АА, Енгибарян АА, Матевосян РШ, Кочарян ГГ. Население Армянского нагорья в эпоху античности (по краниологическим материалам городских и сельских поселений). Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2020;1(48):96-115.
44. Кондукторова ТС. Физический тип людей Нижнего Приднепровья. Москва: Наука; 1979. 127 с.
45. Кондукторова ТС. Населення Неаполя Скіфського за антропологічними даними. Матеріали з антропології України. 1964;3:32-71.
46. Малашев ВЮ, Фризен СЮ. Краниологические материалы из могильников аланской культуры Северного Кавказа III – первой половины V ст. н. э. Краткие сообщения Института археологии. 2020;260:459-81.

47. Алексеев ВП. Происхождение народов Кавказа. Избранное. Москва: Наука; 2009. Т. 5. 379 с.
48. Балабанова МА. Новые данные об антропологическом типе сарматов. Российская археология. 2010;2:67-77.
49. Балабанова МА. Позднесарматское население Нижнего Поволжья и сопредельных территорий в антропологическом контексте раннего железа и раннего средневековья [диссертация]. Москва; 2013.
50. Денисова РИ. Антропология древних балтов. Рига: Знание; 1975. 404 с.
51. Чеснис ГА. Многомерный анализ антропологических данных как средство решения проблемы выделения балтских племенных союзов в эпоху железа (преимущественно на территории Литвы). В: Балты, славяне, прибалтийские финны. Рига: Зинатне; 1990. с. 7–20.
52. Кондукторова ТС. Материалы по палеоантропологии Украины. Труды Института этнографии. 1956;33:57-91.
53. Гохман ИИ, Громов АВ. Тесинский грунтовый могильник Каменка III: данные краниометрии и краниоскопии. Археология, этнография и антропология Евразии. 2009;1(37):136-45.
54. Рудич ТО. Антропологічний склад населення черняхівської культури Західної України. Археологія. 2004;3:388-97.

References

1. Bunak VV. Cherep cheloveka i stadii ego formirovaniya u iskopaemykh lyudey i sovremennykh ras [The Human Skull and Stages of Its Formation in the Fossil Humans and Modern Races]. Moscow: Izdatelstvo AN; 1959. 283 p. Russian.
2. Fedorchuk OA. Metodicheskie aspekty sootnositelnoy izmenchivosti izmeritelnykh priznakov cherepa cheloveka [Methodical Aspects of Correlative Variability of Measurable Features of the Human Skull] [dissertation]. Moscow; 2022. 275 p. Russian.
3. Magomedov BV. Chernjakhovskaja kultura Severo-Zapadnogo Prichernomor'ja [Chernyakhov Culture of the Northwestern Black Sea Region]. Kyiv: Naukova Dumka; 1987. 111 p. Russian.
4. Shchukin MB. Gotskiy put (goty, Rim i Chernjakhovskaja kultura) [The Gothic Way (Goths, Rome and Chernyakhov Culture)]. Saint Petersburg: Filologicheskii fakultet; 2005. 592 p. Russian.
5. Rudych TO. Antropolohichnyi sklad naselennia cherniakhivskoi kultury Pivnichnoho Prychornomor'ia [Anthropological Composition of the Population of Chernyakhiv Culture of the Northern Black Sea Region]. Arkheolohiia. 2010;4:19-32. Ukrainian.
6. Gudkova AV. Chernjakhovskaja kultura. In: Davni kultury Pivnichno-Zakhidnogo Prychornomor'ia [Chernyakhov Culture. Ancient Cultures of the Northwestern Black Sea Region]. Materialy z arkheolohii Pivnichnoho Prychornomor'ia. Odesa; 2013. p. 629-58. Russian/Ukrainian.
7. Shtohrin VV. Morfolohichna minlyvist cherepa Homo sapiens iz mohylnya Bilenke [Morphological Variability of Homo Sapiens Skull from Bilenke Burial Ground] [Master's Thesis]. Odesa; 2019. 80 p. Ukrainian.
8. Geiko AV. Rozkopky mohylnya cherniakhivskoi kultury Shyshaky u 2009 r. [Excavations of the Chernyakhiv Culture Cemetery Shyshaky in 2009]. Arkheolohiia i davnia istoriia Ukrainy. 2010;4:222-5. Ukrainian.
9. Geiko AV, Reyda RM, Sapegin SV. Research and Rescue Excavations of Shyshatskyi Burial Ground. In: Antiquities of the Dnieper Left Bank Regions – 2016. Kyiv: Center for Monument Studies of the National Academy of Sciences of Ukraine and the Ukrainian Society for the Protection of Historical and Cultural Monuments; 2016. p. 140-9. Ukrainian.
10. Geiko AV, Reyda RM, Sapegin SV. Doslidzhennia Shyshatskoho mohylnya [Research of Shyshatsky Cemetery]. In: Arkheolohichni doslidzhennia v Ukraini 2017 r. Kyiv: Institute of Archaeology, NAS of Ukraine; 2019. p. 193-4. Ukrainian.
11. Reyda RM, Geiko AV, Sapegin SV. Pokhovannia z "platoi Kharonu" z Shyshatskoho mohylnya cherniakhivskoi kultury [Burial with "Charon's Fee" from Shyshatsky Cemetery of Chernyakhiv Culture]. Arkheolohiia. 2014;1:97-103. Ukrainian.
12. Reyda RM, Geiko AV, Sapegin SV. Doslidzhennia mohylnya cherniakhivskoi kultury v smt. Shyshaky [Investigation of Chernyakhiv Culture Cemetery in Shyshaky]. In: Arkheolohichni doslidzhennia v Ukraini 2012 r. Kyiv: Institute of Archaeology, NAS of Ukraine; 2013. p. 212-3. Ukrainian.
13. Pokas PM, Rudych TA. Naselenie territorii Sumshchiny v V–VI vekakh po dannym paleoantropologii [Population of Sumy Region Territory in the 5th–6th Centuries According to Paleoanthropological Data]. Problemy arkheologii Sumshchiny. Sumy; 1989. p. 63-4. Russian.
14. Rudych TO. Naselennia cherniakhivskoi kultury Ukrainy za materialamy antropolohii [Population of Chernyakhiv Culture of Ukraine Based on Anthropological Materials] [dissertation]. Kyiv; 2005. Ukrainian.
15. Rudych TA. Naselenie chernjakhovskoi kultury Ukrainy. Antropologicheskii aspekt [Population of Chernyakhov Culture of Ukraine. Anthropological Aspect]. Suchasni problemy arkheolohii. 2002;2:199-201. Russian.
16. Segeda S. Dental Data as a Source of Ethnogenetic Information based on Material from the Culture of the Chernyakhivsk. Variability and Evolution. 1994;4:29-34.
17. Segeda SP. Antropolohichni sklad naselennia cherniakhivskoi kultury: odontolohichni aspekt [Anthropological Composition of Chernyakhiv Culture Population: Odontological Aspect]. Magisterium. Arkheolohichni studii. 2001;6:30-36. Ukrainian.
18. Ubelaker DN. Human Skeletal Remains: Excavation, Analysis, Interpretation. Albine Manuals on Archaeology. 3rd ed. Chicago; 1989. 116 p.
19. Buikstra J, Ubelaker D. Standards for Data Collection from Human Skeletal Remains. Arkansas Archeological Survey Research Series. 1994;44:206.
20. Bruzek J. A Method for Visual Determination of Sex, Using the Human Hip Bone. American Journal of Physical Anthropology. 2002;117(2):157-68.
21. Bruzek J, Santos F, Dutailly B, Murail P, Cunha E. Validation and Reliability of the Sex Estimation of the Human os coxae Using Freely Available DSP2 Software for Bioarchaeology and Forensic Anthropology. Am J Phys Anthropol. 2017 Oct;164(2):440-9. doi:10.1002/ajpa.23282
22. Artemiev AV. Evoliutsiini osoblyvosti rozvytku zakhvoriuvan na kariies zubiv u liudyny [Evolutionary Features of Dental Caries Development in Humans] [Dissertation abstract]. Poltava; 2012. 20 p. Ukrainian.
23. Vallois HV. La durée de la vie chez l'homme fossile. L'Anthropologie. 1937;47:499-532.
24. Brothwell DR. Digging up Bones. London; 1972. 194 p.
25. Martin R. Lehrbuch der Anthropologie. In systematischer Darstellung. Mit besonderer Berücksichtigung der anthropologischen Methoden für Studierende, Ärzte und Forschungsreisende. Zweite, vermehrte Auflage. Jena: Gustaf Fischer. Bd. II: Krianiologie, Osteologie Mit 281 Abbildungen im Text. 1928. 1062 S.
26. Alekseev VP, Debets GF. Krianiometriya. Metodika antropologicheskikh issledovaniy [Cranioimetry. Methods of Anthropological Research]. Moscow: Nauka; 1964. 127 p. Russian.
27. Deryabin VE. O metodikakh mnogomernogo taksonomicheskogo analiza v antropologii [On Methods of Multidimensional Taxonomic Analysis in Anthropology]. Vestnik antropologii. 1998;4:30-68. Russian.

28. Deryabin VE. Kurs lektiy po mnogomernoy biometrii dlya antropologov [Course of Lectures on Multidimensional Biometry for Anthropologists]. Moscow: MGU; 2008. 332 p. Russian.
29. Kozintsev AG. Kak byt, esli starye statisticheskie programmy nesovmestimy s novymi komp'yuterami? [What to Do if Old Statistical Programs are Incompatible with New Computers?] [Internet]. 2016. Available from: <https://cutt.ly/mkQfSXp>. Russian.
30. Rightmire GP. Brain size and encephalization in Early to Mid-Pleistocene Homo. *Am J Phys Anthropol*. 2004 Jun;124(2):109-23. doi:10.1002/ajpa.10346.
31. Kozintsev AG. Skify severnogo Prichernomor'ya: mezhruppovye razlichiya, vneshnie svyazi, proiskhozhdenie [Scythians of the Northern Black Sea Region: Intergroup Differences, External Connections, Origin]. *Arkheologiya, etnografiya i antropologiya Evrazii*. 2007;4(32):143-57. Russian.
32. Zinevych HP. Do antropologii mohylnya bilia s. Zavitne v Krymu [On anthropology of the Cemetery near Zavitne Village in Crimea]. *Materialy z antropologii Ukrainy*. 1971;5:111-21. Ukrainian.
33. Zinevych HP. Antropologicheskie materialy srednevekovykh mogilnikov yugo-zapadnogo Kryma [Anthropological Materials from Medieval Cemeteries of Southwestern Crimea]. Kyiv: Naukova Dumka; 1973. Russian.
34. Konduktorova TV. Pizni skify na Nyzhnomu Dnipro (za antropologichnymi materialamy zolotobalkovskoho mohylnya) [Late Scythians on the Lower Dnipro (Based on Anthropological Materials from Zolotobalka Cemetery)]. *Materialy z antropologii Ukrainy*. 1971;5:60-72. Ukrainian.
35. Nazarova TA. Naseennia Khersonesa v I-XIV st. za antropologichnymi danyymi [Population of Chersonesos in the 1st-14th Centuries According to Anthropological Data] [dissertation]. Kyiv; 2002. 262 p. Ukrainian.
36. Ivanov AV. Prilozhenie k state "Naselenie ellinisticheskogo Khersonesa po dannym antropologii" [Appendix to the Article "Population of Hellenistic Chersonesos according to anthropological data"]. *Khersonesskiy sbornik*. 2012;17:37-46. Russian.
37. Gerasimova MM, Rud NM, Yablonskiy LT. Antropologiya antichnogo i srednevekovogo naseleniya Vostochnoy Evropy [Anthropology of Ancient and Medieval Population of Eastern Europe]. Moscow: Nauka; 1987. 251 p. Russian.
38. Konduktorova TS. Antropologicheskaya kharakteristika pogrebennykh iz bosporskogo mogilnika u s. Zolotoe [Anthropological Characteristics of the Buried from Bosporan Cemetery near Zolotoe Village]. In: Korpusova VN. *Nekropol Zolotoe (k etnokulturnoy istorii evropeyskogo Bospora)*. Kyiv: Naukova Dumka; 1983. p. 163-74. Russian.
39. Kasimova RM. Antropologicheskie issledovaniya cherepov iz Mingechaura [Anthropological studies of skulls from Mingechaur]. Baku: AN AzSSR; 1960. 134 p. Russian.
40. Batieva EF. The Population of the Lower Don Region of the 9th Century B.C. – 4th Century A.D. (Paleoanthropological Research). Rostov-on-Don: SSC RAS; 2011. 160 p. Russian.
41. Gerasimova MM. Kraniologichni materialy z antichnoi Fanahorii [Craniological Materials from Ancient Phanagoria]. *Materialy z antropologii Ukrainy*. 1971;5:55-9. Ukrainian.
42. Ginzburg VV, Trofimova TA. Paleoantropologiya Sredney Azii [Paleoanthropology of Central Asia]. Moscow: Nauka; 1972. 370 p. Russian.
43. Khudaverdyan AY, Oganessian AA, Engibaryan AA, Matevosyan RSh, Kocharyan GG. Naselenie Armyanskogo nagorya v epokhu antichnosti (po kraniologicheskimi materialam gorodskikh i selskikh poseleniy) [Population of the Armenian Highlands in Antiquity (Based on Craniological Materials from Urban and Rural Settlements)]. *Vestnik arkheologii, antropologii i etnografii*. 2020;1(48):96-115. Russian.
44. Konduktorova TS. Fizicheskii tip lyudey Nizhnego Pridneprov'ya [Physical type of people of the Lower Dnieper region]. Moscow: Nauka; 1979. 127 p. Russian.
45. Konduktorova TS. Naseennia Neapolya Skifskoho za antropologichnymi danyymi [Population of Scythian Neapolis According to Anthropological Data]. *Materialy z antropologii Ukrainy*. 1964;3:32-71. Ukrainian.
46. Malashev VYu, Frizen SYu. Kraniologicheskie materialy iz mogilnikov alanskoj kultury Severnogo Kavkaza III – pervoy poloviny V st. n. e. [Craniological Materials from Cemeteries of Alan Culture of the North Caucasus 3rd – First Half of 5th Century AD]. *Kratkie soobshcheniya Instituta arkheologii*. 2020;260:459-81. Russian.
47. Alekseev VP. Proiskhozhdenie narodov Kavkaza. Izbrannoe [Origin of the Peoples of the Caucasus. Selected Works]. Moscow: Nauka; 2009. Vol. 5. 379 p. Russian.
48. Balabanova MA. Novye dannye ob antropologicheskome tipe sarmatov [New Data on the Anthropological Type of Sarmatians]. *Rossiyskaya arkheologiya*. 2010;2:67-77. Russian.
49. Balabanova MA. Pozdnesarmatskoe naselenie Nizhnego Povolzhya i sopredelnykh territoriy v antropologicheskome kontekste rannego zheleza i rannego srednevekovya [Late Sarmatian Population of the Lower Volga Region and Adjacent Territories in the Anthropological Context of the Early Iron Age and Early Middle Ages] [dissertation]. Moscow; 2013. Russian.
50. Denisova RI. Antropologiya drevnikh baltov [Anthropology of Ancient Balts]. Riga: Znanie; 1975. 404 p. Russian.
51. Chesnis GA. Mnogomernyy analiz antropologicheskikh dannykh kak sredstvo resheniya problemy vydeleniya Baltskikh plemennykh soyuzov v epokhu zheleza (preimushchestvenno na territorii Litvy) [Multidimensional Analysis of Anthropological Data as a Means of Solving the Problem of Identifying Baltic Tribal Unions in the Iron Age (Mainly in Lithuania)]. In: Balty, slavyane, pribaltiyskie finny. Riga: Zinatne; 1990. p. 10-20. Russian.
52. Konduktorova TS. Materialy po paleoantropologii Ukrainy [Materials on Paleoanthropology of Ukraine]. *Trudy Instituta etnografii*. 1956;33:57-91. Russian.
53. Gokhman II, Gromov AV. Tesinskiy gruntovyy mogilnik Kamenka III: dannye kraniometrii i kranioskopii [Tesinsky Ground Cemetery Kamenka III: Craniometric and Cranioscopic Data]. *Arkheologiya, etnografiya i antropologiya Evrazii*. 2009;1(37):136-45. Russian.
54. Rudych TO. Antropologichnyi sklad naselennia cherniakivskoi kultury Zakhidnoi Ukrainy [Anthropological Composition of Chernyakhiv Culture Population of Western Ukraine]. *Arkheolohiia*. 2004;3:388-97. Ukrainian.

Yu. Dolzhenko

Mykola Gogol Nizhyn State University, Nizhyn, Ukraine

CRANIOLOGY OF CHERNYAKHIV CULTURE MALES FROM SHYSHAKY

Abstract

The article is dedicated to the publication and comparative analysis of a craniological group from the Chernyakhiv culture of the second half of the 4th – first half of the 5th century AD, from Shyshaky. The series consists of skulls found during excavations in 2009–2016, by R. Reida, A. Geiko, and S. Sapegin. **The aim of the article** is to introduce new material into scientific circulation, provide a general characterization of Chernyakhiv culture males against the background of adjacent ethnic groups in Ukraine, Lithuania, Eastern Europe, and Eurasia (diachronic method), determine the distances between individual series from the 3rd century BC to the 5th century AD using multidimensional canonical and cluster analysis, and clarify the place of males from Shyshaky in the system of craniological types of the Chernyakhiv culture from the territory of Ukraine. This study also aims to determine the features of the studied group based on the results of typologization. **Methodology.** The research is based on the principle of objectivity, using general scientific analysis and synthesis, the method of observation, anthropological and statistical methods. Skulls were measured according to a complete craniometric program using R. Martin's standard methodology, according to which feature numbering was indicated. The work used computer programs created by B. and O. Kozintsev in 1991. Fourteen craniometric features were involved. The article considers only males, as females require a separate, detailed study. **Scientific novelty.** For the first time, a male sample of the Chernyakhiv culture from the second half of the 4th – first half of the 5th century AD from Shyshaky was created, involving fourteen skulls. It was determined that according to the average values of craniometric features, the male part of the population can be attributed to the dolichocranial Europoid variant with a narrow face (based on the absolute dimensions of the facial skeleton). It has been proven that the male craniological group from Shyshaky, according to T. Rudych's typological scheme, falls within the dolichocranial, narrow-faced craniological type, in which Chernyakhiv groups from the territory of Moldova and Western Ukraine are located. **Conclusions.** When comparing the male study group of the 4th–5th centuries AD with synchronous series from the territory of Ukraine and diachronic and synchronous groups from Central and Eastern Europe (Lithuania, Caucasus) and Asia using the method of multidimensional canonical and cluster analysis, similarity to the combined series of Western Ukraine was noted.

Keywords: population, morphology, Homo sapiens, biological development, ethnic anthropology, racial studies.

ARTICLE HISTORY. Submitted 15 November 2024. Accepted 4 December 2024. Published 18 August 2025

Відомості про автора Author Information

Долженко Юрій Володимирович – аспірант Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя, Ніжин, Україна

Dolzhenko Yuriy – PhD student at the Mykola Gogol Nizhyn State University, Nizhyn, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-9807-2835>

yuriy_dolzhenko@ukr.net



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

DOI: 10.18523/2617-4529.2025.8.45-54

UDC 579.2:579.63/619:636.5

O. Nechypurenko^{1,2}, I. Furtat¹, D. Dreval³, L. Avdeeva²

¹ National University of Kyiv-Mohyla Academy, Kyiv, Ukraine

² D. K. Zabolotny Institute of Microbiology and Virology of
the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

³ LLC “Center for Veterinary Diagnostics”, Kyiv, Ukraine

COLIBACILLOSIS IN BROILER CHICKS AND ITS ETIOLOGICAL LINK TO THE BIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF *ESCHERICHIA COLI* ISOLATES FROM THE BREEDER FLOCK

Abstract

Pathogenic strains of *Escherichia coli*, capable of causing avian colibacillosis (APEC), currently pose a significant threat to modern poultry farming, in particular industrial broiler production. Moreover, the origin of colibacillosis in broiler chickens is connected with parental health issues. Therefore, the aim of the work was to investigate the etiological link between colibacillosis in 1-day old chicks and the biological characteristics of *E. coli* isolates from the breeder flock. A total of 65 pathogenic *E. coli* isolates were detected from broiler-breeders ($n = 14$) and 1-day-old chickens ($n = 51$). This shows a huge impact of colibacillosis on poultry farming at different levels of production. The main lesions were associated with fibrin deposition and omphlitis formation. The last-mentioned parameter could affect the viability of chicks; nevertheless, the average Pasgar score was identified as 9.7 points. Among APEC, the most prevalent were O78 and O18 serotypes, which were characterized by the absence of β -hemolysis. Moreover, the antibiotic profile of APEC isolated from parenteral and progeny flocks was similar. A high level of resistance to amoxicillin, amoxiclav, doxycycline, tetracycline, and enrofloxacin was found; more than 70% of isolated APEC were invulnerable to the mentioned antimicrobials. The most effective antibiotics were colistin, gentamicin, and florfenicol, to which only 0.0% and 2.0%, 14.3 and 9.8%, 7.1% and 2.0% of isolated APEC from broiler-breeders and chickens, respectively, were resistant. In addition, prolonged treatment of birds led to the formation of multi-resistant strains that affected chickens from the first days of life. Thus, studying the process of APEC infection through an integrated production chain can be useful for taking appropriate measures to prevent early cases of colibacillosis.

Keywords: Avian pathogenic *E. coli* (APEC), antibiotic resistance, colibacillosis.

Introduction

Avian colibacillosis, caused by pathogenic variants of *Escherichia coli* (notably so-called APEC strains), is one of the most prevalent infectious diseases affecting domestic, ornamental, and wild birds. It exhibits a variable course – acute or chronic – accompanied by signs of intoxication. This disease is a major cause of significant economic losses in poultry farming worldwide, due to high mortality rates, reduced egg production, poor weight

gain in meat-type birds, ineffective treatment, and compromised immunological responsiveness to vaccinations against various viral infections [1,2].

Colibacillosis can manifest as either localized or systemic infections, which in turn present in various clinical forms, including acute septicemia, subacute pericarditis, chronic respiratory diseases, fibrinous-purulent polyserositis, airsacculitis, and many others. The progression of colibacillosis may affect multiple physiological systems – such as the

respiratory, digestive, reproductive, or musculo-skeletal systems – or remain localized, as observed in cases of yolk sac infection, omphalitis, dermatitis, cellulitis, or panophthalmitis. Thus, APEC is an etiological agent of primary infections, the development of which is often associated with suboptimal conditions in large-scale poultry farms, including elevated ammonia levels, high stocking density, temperature fluctuations, and other environmental stressors that negatively impact poultry health [3]. At the same time, they can frequently cause secondary infections that complicate such primary diseases as respiratory viral infections (Newcastle disease, infectious bronchitis, avian influenza) and mycoplasma infections caused by *Mycoplasma gallisepticum* or *Mycoplasma synoviae* [1,2,4].

In general, representatives of the *E. coli* species belong to the commensal microbiota of the lower gastrointestinal tract in mammals and birds, contributing to the maintenance of normal physiological functions of the host organism. At the same time, *E. coli*, being a ubiquitous microorganism, is characterized by remarkable genomic plasticity, as it can enrich its genome through the acquisition of genes whose expression products enable it to adapt to adverse environmental conditions, colonize atypical biotopes, synthesize diverse virulence factors, and produce compounds that contribute to resistance against various classes of antimicrobial agents [5-7]. Notably, it has been established that among the virulence factors involved in the pathogenesis of colibacillosis, F1 fimbriae adhere to the epithelial cells of the pharyngeal and tracheal respiratory tracts of chicks; temperature-sensitive hemagglutinin plays a role in the colonization of the air sacs; the aerobactin iron-acquisition system enables *E. coli* to grow under conditions of low free iron concentration in physiological fluids; and P-fimbriae are critical at later stages of infection, facilitating adhesion to internal organs and providing resistance to phagocytosis. The presence of plasmids in *E. coli* strains may explain the rapid and efficient transfer of virulence factors post-hatching. Moreover, the genetic background can influence the bacterium's ability to acquire, maintain, or express pathogenic traits. It has also been shown that infection of chicks with *E. coli* may occur transovarially from infected hens and/or via a contaminated eggshell surface. Moreover, horizontal transmission through inhalation from infected offspring to other chicks upon contact after hatching is possible [5,6,8,9]. Nevertheless, the number of studies focused on the distribution of pathogenic *E. coli* strains causing avian diseases, as well as on

the structure and biological characteristics of the APEC population in broiler production and the transmission pathways from parent stock to chicks, remains rather limited. Thus, the aim of the work was to investigate the etiological link between colibacillosis in 1-day-old chicks and the biological characteristics of *E. coli* isolates from the breeder flock.

Material and methods

In the research, biological material collected during 2023–2024 from one of the productive zones of a poultry farm in Ukraine was used. In cases of increased bird mortality during the production period, samples were taken from birds of various age groups (specifically at 180–190, 230–240, 310–320, and 380–390 days) for subsequent pathological and bacteriological analysis. Importantly, the birds had been vaccinated twice with a live attenuated vaccine derived from *Escherichia coli* strain EC 34195, which carries a mutation in the *aroA* gene. The quality of one-day-old chicks originating from diseased breeder-broilers was assessed based on the criteria including the presence of pathological changes and bacterial infection.

The analysis of the pathological condition of the birds selected for the study was carried out in the laboratory of LLC “Center for Veterinary Diagnostics”. For this purpose, autopsies were performed and lesions were described in particular: trachea, lungs, air sacs, heart, liver, spleen, kidneys, stomach, small and large intestine and yolk sac. The degree of pathological changes was determined depending on the area of the affected organ according to a 0-3-point system. The degree of lesions was valued from 0 to 3 points: 0 – absent, 1 – mild, 2 – moderate and 3 – severe based on the presence of fibrin deposition, hemorrhages, edema and inflammation [10].

The selection of biological material samples for further isolation of bacteria was carried out aseptically from the internal organs: in broiler parents – from the liver, heart, spleen, and in day-old chicks – from the liver, heart, and yolk sac, respectively. At the first stage of isolation of cultures, the samples were placed in a liquid nutrient medium tryptone soy broth (TSB, Himedia, India) and cultivated at a temperature of 37 °C for 24 hours. After that, the bacteria were sown using the dense lawn technique on MacConkey diagnostic and differential medium (McCM, Himedia, India). Subsequently, the colonies that grew on the surface of the nutrient medium were subcultured using the depletion streak technique on tryptone soy agar (TSA, Himedia, India) for further

identification. Isolates of *E. coli* were considered to be pathogenic if they were isolated from more than two organs [11].

Bacterial isolates were identified using the API20 E test system (bioMerieux, France) according to the main diagnostically significant features of the *E. coli* species, which allows assessing a number of biochemical indicators: the presence of the enzymes β -galactosidase, tryptophan deaminase, lysine decarboxylase, ornithine decarboxylase, arginine dihydrolase, urease, gelatinase; the ability to ferment glucose, mannitol, inositol, sorbitol, rhamnose, sucrose, melibiose, amygdalin, arabinose; the ability to utilize citrate and form hydrogen sulfide, indole, and acetoin.

The susceptibility of *E. coli* isolates to antimicrobials was determined by the Kirby-Bauer disk diffusion method on Mueller-Hinton medium (MHM, Himedia, India) [12]. The following antimicrobial compounds were used (Oxoid, Holland): spectinomycin, gentamicin, neomycin, fosfomicin, amoxicillin, amoxiclav, doxycycline, oxytetracycline, colistin, florfenicol, flumequine, enrofloxacin, norfloxacin, ciprofloxacin and trimethoprim. The quality control of antimicrobial discs and Mueller-Hinton media was determined using reference strains of the American Type Culture Collection (ATCC): *E. coli* ATCC 25922, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 and *Enterococcus faecalis* ATCC 29212, which are maintained in the Ukrainian Collection of Microorganisms at the Zabolotny Institute of Microbiology and Virology of the National Academy of Sciences of Ukraine. Isolated multiresistant pathogenic *E. coli* strains were stored on semi-solid thioglycolate medium at 2 °C for further research [13,14].

Serotyping of the *E. coli* isolates was performed using polyvalent Anti-Coli P (O78, O2, O86, O18) sera (Sifin, Germany). Hemolytic activity of the cultures was determined using blood agar (BA, Himedia, India) and classified as α -, β - and γ -hemolysis according to the severity [15].

The etiological impact of the state of the broiler-breeders on the health of their offspring was determined in accordance with the Global Health Chicks Program for day-old chicks, which involves assessing the viability of chicks according to the Pasgar scale, as well as PCR analysis of samples of biological material from the liver, heart, yolk sac and respiratory tract of chickens, selected on FTA cards for identification of representatives of the species *Mycoplasma galisepticum*, *Mycoplasma synoviae*, *Salmonella* spp. and *E. coli*. PCR was performed in the Hipra Diagnose laboratory (Spain) [1,11].

Data entry, initial analysis, and figure design were done using Microsoft Office Excel 2010 (Microsoft Corporation, New York, NY, USA) to generate figures and run initial analysis as previously described [14]. The chi-square test was calculated using Pearson probability value (p-value) to compare the number of isolates resistant to aminoglycosides, β -lactams, tetracyclines, polypeptides, phenicols, cephalosporins, quinolones and diaminopyrimidines between groups. A p-value less than 0.05 was considered statistically significant [6].

Results and discussion

Poultry farming is a critical source of affordable protein worldwide. However, it faces ongoing threats from various poultry diseases that significantly impact public health, economic stability, and food security [16]. Therefore, the problem of colibacillosis has been and remains to this day one of the main causes of economic losses in poultry farming. Given the globalization of production, pathogenic strains of *E. coli* can not only act as a secondary factor in the pathological condition, but also serve as the main cause of death regardless of the age of the bird [7]. Moreover, there is evidence of vertical transmission of pathogenic *E. coli* strains from the breeders to their offspring, in particular to day-old chicks, as well as the transfer of virulence and resistance genes to commensal microbiota, including *E. coli* [17]. Thus, understanding the transmission routes, risk factors and survival characteristics of the most important pathogens affecting poultry populations, as well as maintaining strict biosecurity, are key points [16].

The poultry population was examined for the presence of colibacillosis in one production zone of the farm during the productive period. We identified four age intervals during which an increased mortality rate was observed ranging from 0.6 to 1.3%. The increase in livestock mortality was observed during the period of the greatest psychological stress on the poultry and the influence of possible stress factors, which were not analyzed in this work. In particular, from the 150th day, birds undergo significant hormonal changes, which are associated with the process of laying and fertilization. This leads to a weakening of the immune response through the synthesis of the stress hormone corticosterone, which inhibits the proliferation of cytotoxic lymphocytes and natural killers, thereby disrupting the functioning of the cellular link of immune defense aimed at combating bacterial infection [18].

Twenty-three *E. coli* isolates were detected in broiler parent flocks, 14 of which were considered pathogenic, because they were detected simultaneously in multiple organs, suggesting a systemic infection (Table 1).

To conclude, among the main pathological changes caused by pathogenic isolates of *E. coli*, fibrinous deposits were observed on internal organs, which progressed with age and indicated a chronic stage of the disease. These results coincide with

Table 1

Isolates of *E. coli* detected in broiler-breeders

Features	Age categories (days)			
Age	180–190	240–250	310–320	380–390
Number of breeders	6	5	6	7
Number of isolates / pathogenic	5/4	5/3	7/4	6/3

In dead broiler-breeders at 185 days, the main pathological changes were the development of fibrinous peritonitis (3 points). Fibrinous lesions of the liver and heart (1–2 points) were also detected. However, the air sacs were without signs of aerocolitis, which excludes infection of chickens with *E. coli* by airborne droplets. The spleen was enlarged, hyperemic, which indicated the immune system's reaction to the presence of inflammation. However, no pathological changes were detected in the trachea, lungs, kidneys and stomach. The ovaries were formed without signs of inflammation. In broiler-breeders at 240–250 days, pathological changes were similar to those observed earlier age.

It should be noted that with age, the progression and degree of organ damage increased significantly. Thus, signs of fibrinous pericarditis, perihepatitis, peritonitis and ovaritis (3 points) were found in 100% of the dead birds (Fig. 1). In addition, the liver was of a dense consistency with signs of connective tissue replacement, which could indicate a chronic stage of bacterial infection. Moreover, after 380 days, some cases of coligranulomatosis were detected, a chronic form of old *E. coli* affection.

data presented by Khairullah A. et al. about *E. coli* lesion variety in different age periods of birds [19].

To evaluate the impact of colibacillosis in the breeder flock on broiler offspring, 10 groups of one-day-old chicks of 10 individuals each were examined with an interval of 21 days, which corresponds to the incubation period. As a result of the quality assessment on the Pasgar scale during 10 hatchlings, scores of no less than 9.5 points were obtained, which is considered a fairly high point. And the average values according to the Pasgar scale, considering viability, the condition of the navel, skin of the legs, beak and abdomen, were 9.7 points, which indicates a fairly high mark and good quality. The worst among all the evaluated parameters was the viability of the chicks, as well as the tightness in the thoracic cavity, which was noted in 9.4 and 8.3% of the chicks, respectively. In our opinion, this may be a likely result of the influence of bacterial infection because of egg contamination or vertical transmission of the pathogen (Fig. 2) [20].

During autopsy, 79% of day-old chicks showed a change in the color of the yolk sac from brown to green, as well as signs of omphalitis. According to data from other authors [20] pathogenic strains of

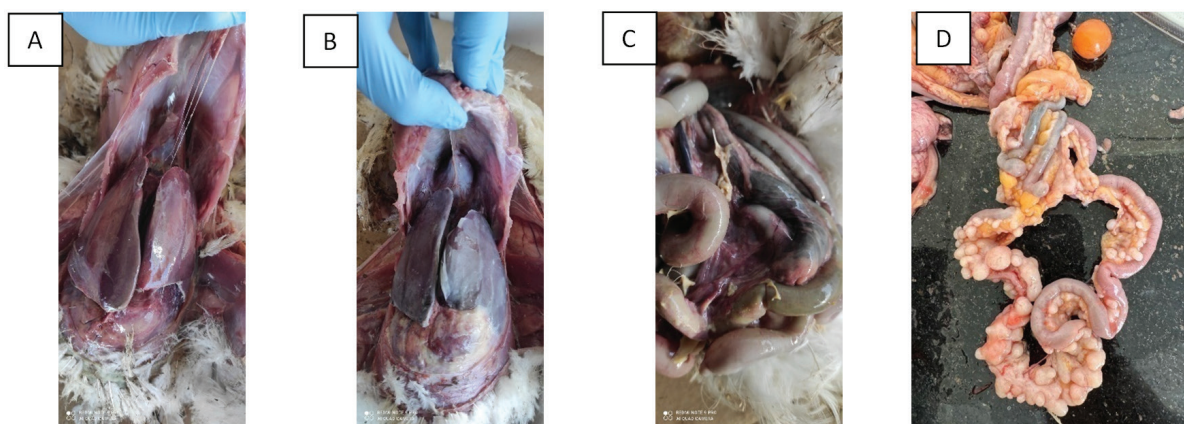


Fig. 1. Lesion that was observed in dead birds: A – development of fibrinous pericarditis, perihepatitis (2 points); B – fibrinous pericarditis and perihepatitis (3 points); C – peritonitis; D – granulomatous formation on the intestine

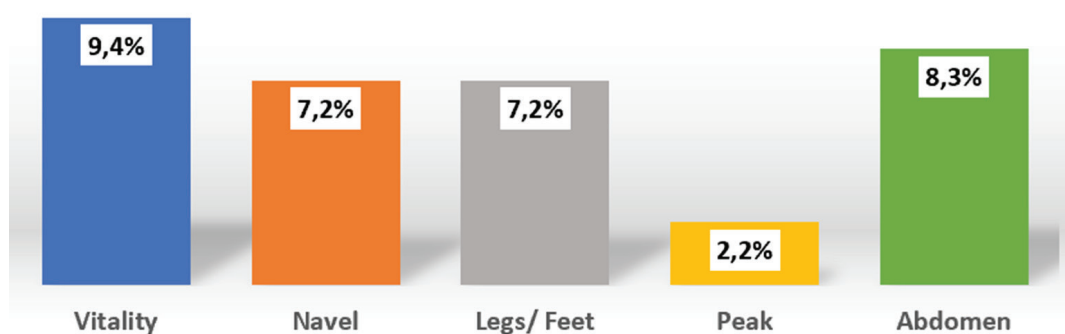


Fig. 2. Number of chick (%) with visual affection regarding Pasgar evaluation

E. coli are the most common cause of omphalitis affecting chicks in the first 7 days of life. In addition, in 6% of cases, signs of fibrinous pericarditis were observed, indicating the presence of a bacterial infection. In most chicks, the liver was icteric without signs of inflammation. The spleen was swollen, the cecum was distended with excess gas, and slight erosions on the cuticle were observed in the stomach, which indicated the development of cuticulitis and is not considered a pathognomonic sign of colibacteriosis.

During the bacteriological study of 1-day-old chickens, 67 isolates of *E. coli* were isolated, of which 51 (i.e., 76%) were considered pathogenic. This indicates a systemic course of bacterial infection and a septic state in chickens. According to the results of PCR, *Salmonella* spp., *Mycoplasma synoviae* and *Mycoplasma galisepticum* were not detected. Instead, a positive result for *E. coli* was recorded in all studied groups, with the Ct value ranging from 19.6 to 35.1 units. It should be noted that in the case when $Ct \leq 32.0$, the amount of genetic material of bacterial cells is significant and

may indicate their virulence, since omphalitis was detected in most of the studied chickens.

Comparing the biochemical features of *E. coli* isolated from broiler-breeders and their progeny, it should be noted their possibility to produce biogenic amines, for instance putrescine and cadaverin that are toxic for microorganisms [21]. Furthermore, these toxins can react with nitrites to form carcinogenic nitrosamines, which cause dilatation of peripheral blood vessels, capillaries, and arteries, thus resulting in hypotension, flushing [22].

Although the majority of *E. coli* cultures isolated from the parent flock (64.6%) and their chickens (57.1%) were lactose negative. However, according to Kaczmarek et al. [23], there was no correlation between virulence and lactose fermentation capacity.

Serotyping is one of the methods used for typing and *E. coli* classification [24]. The majority of pathogenic *E. coli* detected from breeders' flock were classified as serogroups O78 (57.1%, n = 8) and O18 (21.4%, n = 3). Among pathogenic *E. coli* isolated from chickens, representatives of serogroups O78 (49.0%, n = 25) and O18 (19.6%, n = 10) were also

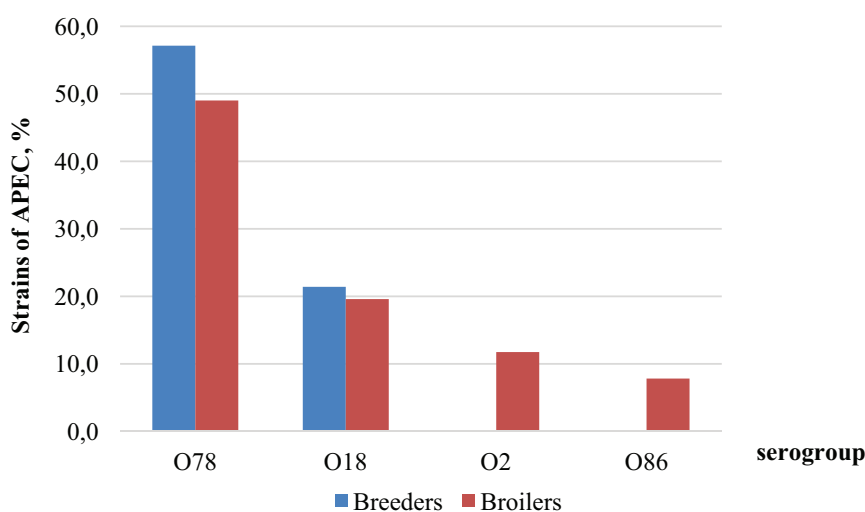


Fig. 3. Prevalence of different serotypes of APEC isolated from breeders and broiler chicks

identified. Also, the variability of serogroups in chickens was wider, it was detected O2 and O86 types, and non-classified isolates, which could be O5, O18, O35, O109, O115 or others, and were not included in diagnostic kit (Fig. 3) [25,26].

However, no correlation between serotype and virulence was detected. Different isolates of any serogroup could acquire several virulence factors. These genes include iron acquisition genes (*iucD*, *iroN*), adhesion genes (*tsh*), toxin genes (*vat*, *hlyF*), serum resistance genes (*iss*), housekeeping proteases (*ompT*), and ColV operon genes (*cvi/cva*) due to plasmids, phages, pathogenicity islands and others mobile genetic elements [6].

As mentioned above, *E. coli* bacteria generate multiple virulence factors that aid its pathogenicity in extra-intestinal infections. Also, these factors could be transmitted to normal microbiota and influence host-pathogen interactions. In our investigation, none of the pathogenic *E. coli* isolates were characterized by β -haemolysis, and fewer than 7,7% had α -haemolysis. Various studies reported the avian *E. coli* as non-hemolytic and independent of haemolytic activity, which corresponds with our results. However, some reports suggested that *E. coli* has the ability to produce haemolysin and causes the release of iron from erythrocytes which helps in the development of systemic bacterial infection [27,28].

Nevertheless, the use of antibiotics has a major impact on the development of resistance. Antimicrobials are still the main tool for treatment in poultry farming. However, there is evidence that *E. coli* strains can quickly develop the resistance under certain circumstances [29].

In our research, it was shown that isolated *E. coli* were most often resistant to amoxicillin (100%) and amoxiclav (98%), the group of beta-lactame antibiotics which inhibit cell wall synthesis. Also, we detected high level of resistance to tetracyclines, more than 78,6 and 85,7% of isolated *E. coli* from breeder's flock were non vulnerable to doxycycline and oxytetracycline, respectively. A similar trend was observed in APEC isolated from chickens (Fig. 4).

It should be noted that we observed high resistance to chinolones, for instance, enrofloxacin. There were detected near 78.6% and 72.5% resistance strains of *E. coli* in breeders and chicks, respectively. Such tandnacy could be explained by prophylactic usage of enrofloxacin and amoxicilline every 4 weeks in productive age of broiler breeders. That high level of resistance in chickens could be due to vertical or horizontal transmission of APEC from parents to progeny flocks. This data corallated with results of Joseph J. et al. [17]. Moreover, ciprofloxacin and norfloxacin characterized by high number of resistant strains isolated from broiler breeders (57.1% and 64.3%) and chickens (51.0% and 47.1%). The effectivity of flumequine, as antimicrobial from the same group, also was low because of crossresistance development [30].

Aminoglycosides are the group of antimicrobials with wide spectrum and possibility to inhibit the proteins synthesis after binding to 30S ribosome [31]. Among aminoglycosides the highest level of resistance was observed to spectinomycin. However, the number of resistant isolates of APEC to gentamycin was the lowest and described as 14.3% and 9.8% from broiler-breeders and chickens,

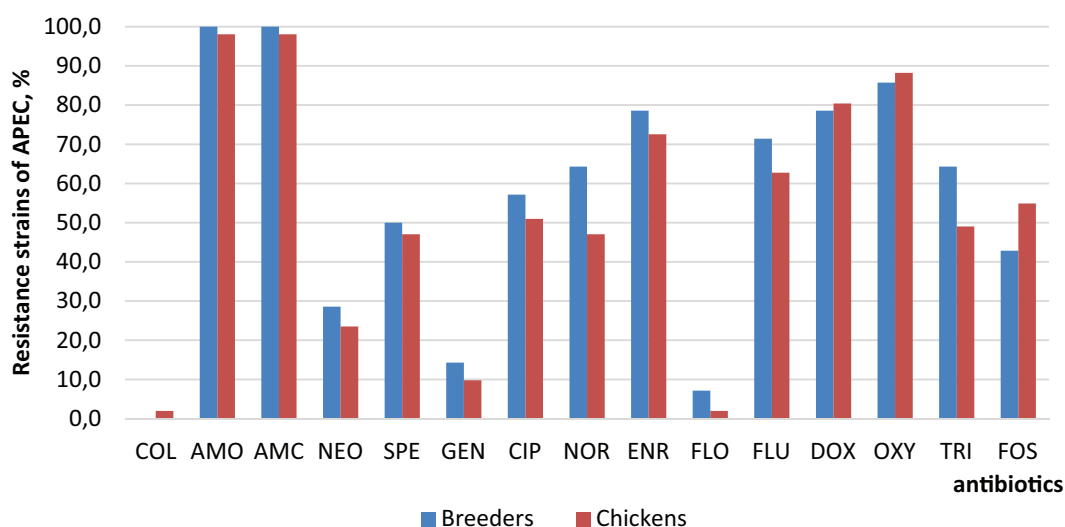


Fig. 4. Number of APEC isolates resistant to antimicrobials: COL – colistin, AMO – amoxicillin, AMC – amoxiclav, NEO – neomycin; SPE – spectinomycin; GEN – gentamycin; CIP – ciprofloxacin; NOR – norfloxacin; ENR – enrofloxacin; FLO – florfenicol; FLU – flumequine; DOX – doxycycline; OXY – oxytetracycline; TRI – trimethoprim; FOS – fosfomycin

respectively. That indicates its high efficiency. It should be noted that aminoglycosides after oral usage is effective only in gastro-intestinal tract, that is why it is necessary to use parenteral route to combat systemic infection (Fig. 4). The resistance profile of isolated APEC to aminoglycosides corresponds to data described on the work of Nechypurenko O. et al. [14].

Nevertheless progressive adaptation of APEC was the lowest level of resistance detected to colistin and florfenicol, bactericidal antibiotics (Fig. 4). It was observed only one resistant strain in chickens during all investigated time. However, colistin as aminoglycosides after application via drinking water works only in the intestine that excluded the influence on systemic infection. Also, the number of florfenicol resistant *E. coli* strains varied from 7.1% to 2.0% in broiler-breeders and chickens, respectively. That indicates the probable influence of broiler-breeders APEC on florfenicol resistance formation in chickens. Basically, florfenicol is not recommended to use in one day old chickens because of negative impact to the growth and development of chicks, and the body weight and immune organ index. Histopathological examination showed that there was a decrease in the number of lymphocytes in the bursa of Fabricius in the treatment group [32].

Nowaday the usage of trimethoprim during colibacillosis became more often ineffective, for instance it was identified 64.3% and 49.0% resistant strain in parental and progeny flocks. That is why vets began to find new solution such as fosfomycin, originally called phosphonomycin, which is a phosphonic acid derivate. Fosfomycin interferes with the early stages of peptidoglycan production, inhibiting UDP-N-acetylglucosamine enolpyruvyl transferase (MurA) enzyme. MurA enzyme catalyzes the formation of peptidoglycan precursor, N-acetylmuramic acid. The binding FOS to MurA and, thus, the inability to proceed in peptidoglycan formation result in a bactericidal activity of the drug [33]. Despite this fact the number of resistant isolated APEC strains varied from 42.9 to 54.9% in broiler-breeders and 1-day old chickens. Such

tendency could be due to the influence of aminoglycosides to crossprotection development with fosfomycin.

It is necessary to add that during research period we isolated 5 multiresistant (non vulnerable to more than 3 antibiotics) strains of pathogenic *E. coli* for example that can be damaged only by colistin, florfenicol and gentamicin. All multiresistant APEC were isolated at the final stage of the research that indicated resistance development after prolonged antimicrobial application that also influenced *E. coli* isolated from progeny chickens.

Therefore, further investigation on genetic level dedicated to relationship between APEC isolated from broilers-breeders and their chicken should be done. Preventative measures against *E. coli* on parental flocks such as probiotics, live and inactivated vaccine application could play a crucial role in disease control in broiler farming.

Conclusion

It was detected 65 pathogenic *E. coli* isolates from broiler-breeders and 1 day old chickens. That has shown a huge impact of colibacillosis to poultry farming in different levels of production. The main lesions were associated with fibrin deposition and omphalitis formation. Among APEC the most prevalent were O78 and O18 serotypes with characterized by absence of β -haemolysis. Moreover, the antibiotic profile of APEC isolated from parenteral and progeny flocks was similar. There was found a high level of resistance to amoxicillin, amoxiclavate, doxycycline, tetracycline and enrofloxacin, more than 70% of isolated APEC was invulnerable. If coliform pathogens are transmitted to broiler chickens, the risk of developing this infection increases and the quality of the chickens deteriorates. In addition, the treatment of birds for a long time leads to the formation of multi-resistant strains that affect chickens from the first days of life. Thus, studying the process of APEC infection through an integrated production chain can be useful for taking the appropriate measures to prevent early cases of coliforms.

References

- Wilczyński J, Stepień-Pysiński D, Wystalska D, Wernicki A. Molecular and Serological Characteristics of Avian Pathogenic *Escherichia coli* Isolated from Various Clinical Cases of Poultry Colibacillosis in Poland. *Animals*. 2022;12(9):1090. doi:10.3390/ani12091090
- Chenouf NS, Messaï CR, Carvalho I, Álvarez-Gómez T, Silva V, Zitouni A, Hakem A, Poeta P, Torres C. Serogrouping and Molecular Characterization of ESBL-Producing Avian Pathogenic *Escherichia coli* from Broilers and Turkeys with Colibacillosis in Algeria. *Antibiotics*. 2025;14(9):356. doi:10.3390/antibiotics14040356
- Pilati GVT, Salles GBC, Savi BP, Dahmer M, Muniz EC, Filho VB, Elois MA, Souza DFSM, Fongaro G. Isolation and Characterization of *Escherichia coli* from Brazilian Broilers. *Microorganisms*. 2024;12:1463. doi:10.3390/microorganisms12071463
- Apostolakis I, Laconi A, Mughini-Gras L, Yapici ÖS, Piccirillo A. Occurrence of Colibacillosis in Broilers and Its Relationship with Avian Pathogenic *Escherichia coli* (APEC) Population Structure and Molecular Characteristics. *Front. Vet. Sci.* 2021;8:737720. doi:10.3389/fvets.2021.737720
- Denamur E, Clermont O, Bonacorsi S, Gordon D. The population genetics of pathogenic *Escherichia coli*. *Nature Reviews Microbiology*. 2021;19:37–54. doi:10.1038/s41579-020-0416-x
- Johar A, Al-Thani N, Al-Hadidi SH, Dliissi E, Mahmoud MH, Eltai NO. Antibiotic Resistance and Virulence Gene Patterns Associated with Avian Pathogenic *Escherichia coli* (APEC) from Broiler Chickens in Qatar. *Antibiotics*. 2021;10(5):564. doi:10.3390/antibiotics10050564
- Hu J, Afayibo DJ, Zhang B, Zhu H, Yao L, Guo W, Wang X, Wang Z, Wang D, Peng H, Tian M, Qi J, Wang S. Characteristics, pathogenic mechanism, zoonotic potential, drug resistance, and prevention of avian pathogenic *Escherichia coli* (APEC). *Front. Microbiol.* 2022;13. doi:10.3389/fmicb.2022.1049391
- Kathayat D, Lokesh D, Ranjit S, Rajashekara G. Avian Pathogenic *Escherichia coli* (APEC): An Overview of Virulence and Pathogenesis Factors, Zoonotic Potential, and Control Strategies. *Pathogens*. 2021;10(4):467. doi:10.3390/pathogens10040467
- Giovanardi D, Campagnari E, Ruffoni LS, Pesente P, Ortali G, Furlattini V. Avian pathogenic *Escherichia coli* transmission from broiler breeders to their progeny in an integrated poultry production chain. *Avian Pathology*. 2005;34(4):313–8. doi:10.1080/03079450500179046
- Hussein EA, Hair-Bejo M, Adamu L, Omar AR, Arshad SS, Awad EA, Aini I. Scoring system for lesions induced by different strains of Newcastle Disease virus in chicken. *Vet. Med. Int.* 2018. doi:10.1155/2018/9296520
- Afayibo DJ, Zhu H, Zhang B, Yao L, Abdelgawad HA, Tian M, Qi J, Liu Y, Wang S. Isolation, molecular characterization, and antibiotic resistance of Avian Pathogenic *Escherichia coli* in Eastern China. *Vet Sci.* 2022;9(7):319. doi:10.3390/vetsci9070319
- Fritsche TR, McDermott PF, Shryock TR, Walker RD. Agar Dilution and Disk Diffusion Susceptibility Testing of *Campylobacter* spp. *J Clin Microbiol.* 2007;45:2758–59. doi:10.1128/jcm.00569-07
- Kohanski MA, Dwyer DJ, Collins JJ. How antibiotics kill bacteria: from targets to networks. *Nature Reviews Microbiology*. 2010;8:423–35. doi:10.1038/nrmicro2333
- Nechypurenko O, Avdeeva L, Dreval D, Sobko I. Avian Pathogenic *Escherichia coli* and its Antibiotic Resistance. *Mikrobiologichnyi Zhurnal*. 2024;86(5):61–74. doi:10.15407/microbiolj86.05.061
- Khac VH, Holoda E, Pilipinec E, Blanco M, Blanco JE, Mora A, Dahbi G, López C, González EA, Blanco J. Serotypes, virulence genes, and PFGE profiles of *Escherichia coli* isolated from pigs with postweaning diarrhoea in Slovakia. *BMC Vet Res*. 2006;2:10. doi:10.1186/1746-6148-2-10
- Kovács L, Domaföldi G, Bertram P-C, Farkas M, Könyves LP. Biosecurity Implications, Transmission Routes and Modes of Economically Important Diseases in Domestic Fowl and Turkey. *Veterinary Sciences*. 2025;12(4):391. doi:10.3390/vetsci12040391
- Joseph J, Zhang L, Adhikari P, Evans JD, Ramachandran R. Avian Pathogenic *Escherichia coli* (APEC) in Broiler Breeders: An Overview. *Pathogens*. 2023;12(11):1280. doi:10.3390/pathogens12111280
- Rosales AG. Managing Stress in Broiler Breeders: A Review. *Journal of Applied Poultry Research*. 1994;3(2):199–207. doi:10.1093/japr/3.2.199
- Khairullah AR, Afnani DA, Riwu KHP, Widodo A, Yanestria SM, Moses IB, Effendi MH, Ramandinianto SC, Wibowo S, Fauziah I, Kusala MKJ, Fauzia KA, Furqoni AH, Raissa R. Avian pathogenic *Escherichia coli*: Epidemiology, virulence and pathogenesis, diagnosis, pathophysiology, transmission, vaccination, and control. *Veterinary World*. 2024;17(12):2747–62. doi:10.14202/vetworld.2024.2747-2762
- Steffen RPB, Queiroz B, Silva AT, Rocha VGP, Franco LS, Barbosa FB, Knöbl T. Avian pathogenic *Escherichia coli* (APEC) isolated from chicks and embryos in the hatchery. *Braz J Microbiol.* 2025. doi:10.1007/s42770-025-01686-x
- Akinwande FO, Jimon SO. Evaluation of biogenic amines producing potential of bacteria isolated with proteinous food. *Malaysian Journal of Microbiology*. 2020;16(1):1–6. doi:10.21161/mjm.180131
- Turna SN, Chung R, McIntyre L. A review of biogenic amines in fermented foods: Occurrence and health effects. *Heliyon*. 2024. doi:10.1016/j.heliyon.2024.e24501
- Kaczmarek A, Skowron K, Budzyńska A, Grudlewska K, Gospodarek-Komkowska E. Virulence genes and antimicrobial susceptibility of lactose-negative and lactose-positive strains of *Escherichia coli* isolated from pregnant women and neonates. *Folia Microbiol.* 2017;62:363–71. doi:10.1007/s12223-017-0506-y
- Alber A, Morris KM, Bryson KJ, Sutton KM, Monson MS, Chintan-Uta C, Borowska D, Lamont SJ, Schouler C, Kaiser P, Stevens MP, Vervelde L. Avian Pathogenic *Escherichia coli* (APEC) strain-dependent immunomodulation of respiratory granulocytes and mononuclear phagocytes in CSF1R-reporter transgenic chickens. *Front. Immunol.* 2020;10. doi:10.3389/fimmu.2019.03055
- Mehat JW, van Vliet AHM, La Ragione RM. The Avian Pathogenic *Escherichia coli* (APEC) pathotype is comprised of multiple distinct, independent genotypes. *Avian Pathology*. 2021;50(5):402–16. doi:10.1080/03079457.2021.1915960
- Joensen KG, Tetzschner AM, Iguchi A, Aarestrup FM, Scheut F. Rapid and Easy *in silico* Serotyping of *Escherichia coli* Isolates by Use of Whole-Genome Sequencing Data. *J Clin Microbiol.* 2015;3(8):2410–26. doi:10.1128/JCM.00008-15
- Saha O, M Hoque N, Kibria I, Rahaman M, Sultana M, Hossain AM. Multidrug-Resistant Avian Pathogenic *Escherichia coli* Strains and Association of Their Virulence Genes in Bangladesh. *Microorganisms*. 2020;8(8):1135. doi:10.3390/microorganisms8081135
- Singh A, Chhabra D, Gangil R, Sharda R, Sikrodia R, Audarya S. Studies of Virulence Factors of Avian Pathogenic *Escherichia coli* in Avian Colibacillosis by *in vitro* Method and PCR. *Indian Journal of Animal Research*. 2023;57(4):499–504. doi:10.18805/IJAR.B-4329
- Lucio C, Hansen P, Griebeler J, Kipper D, Lunge V. Virulence and Antimicrobial Resistance of Avian Pathogenic *Escherichia coli* (APEC) Isolates from Poultry in Brazil. *Poultry*. 2025;4(1):10. doi:10.3390/poultry4010010
- Swinkels A, Fischer E, Korving L, Christodoulou R, Wagenaar J, Zomer A. Flumequine, a fluoroquinolone in disguise. *NPJ Antimicrob Resist.* 2024;2(1):28. doi:10.1038/s44259-024-00044-5
- Tsai A, Uemura S, Johansson M, Puglisi E, Marshall A, Aitken C, Korlach J, Ehrenberg M, Puglisi J. The impact of aminoglycosides on the dynamics of translation elongation. *Cell Rep.* 2013;3(2):497–508. doi:10.1016/j.celrep.2013.01.027
- Meng F, Liu K, Shen Y, Li P, Wang W, Zhao Y, Liu S. Florfenicol can inhibit chick growth and lead to immunosuppression. *Journal of Integrative Agriculture*. 2025;24 (1):261–71. doi:10.1016/j.jia.2023.11.040
- Marchetti V, Hrabak J, Bitar I. Fosfomycin resistance mechanisms in Enterobacterales: an increasing threat. *Cell. Infect. Microbiol.* 2023;13. doi:10.3389/fcimb.2023.1178547

Нечипуренко О. О.^{1,2}, Фуртат І. М.¹, Древаль Д. В.³, Авдєєва Л. В.²

¹ Національний університет «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА), Київ, Україна

² Інститут мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України, Київ, Україна

³ ТОВ «Центр ветеринарної діагностики», Київ, Україна

КОЛІБАКТЕРІОЗ У КУРЧАТ-БРОЙЛЕРІВ ТА ЙОГО ЕТІОЛОГІЧНИЙ ЗВ'ЯЗОК ІЗ БІОЛОГІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ВИДІЛЕНИХ ШТАМІВ *ESCHERICHIA COLI* З ПЛЕМІННОГО ПОГОЛІВ'Я

Мета дослідження – з'ясувати наявність етіологічного зв'язку між колібактеріозом в одностатевих курчат та біологічними характеристиками ізолятів *E. coli*, які було виділено від птахів із племінного стада. **Методи.** Дослідження проводили на одній з птахофабрик із закритим циклом вирощування протягом усього продуктивного періоду. Для оцінювання патологічних змін здійснювали розтин загинувших курчат та батьків-бройлерів і визначали ступінь їхнього ураження. Ідентифікацію бактерій проводили за допомогою тест-системи Арі20Е, з подальшим серотипуванням ідентифікованих ізолятів та оцінюванням їхньої гемолітичної активності. Якість і життєздатність добових курчат визначали за протоколом Global Hatchery Health Programme. Чутливість виділених ізолятів *E. coli* до антибіотиків визначали методом Кірбі – Бауера. **Результати.** Від бройлерів-плідників ($n = 14$) та одностатевих курчат ($n = 51$) було виділено 65 патогенних ізолятів *E. coli*. Це засвідчило значний вплив колібактеріозу на птахівництво на різних рівнях виробництва. Основні ураження були пов'язані з відкладенням фібрину та утворенням омфлаїту. Останній міг вплинути на життєздатність курчат, проте середній бал за шкалою Пасгара становив 9,7. Серед досліджених патогенних пташиних кишкових паличок (*Avian pathogenic Escherichia coli*, АРЕС) найпоширенішими були серотипи O78 та O18, які характеризувалися відсутністю β -гемолізу. Ба більше, антибіотичний профіль АРЕС, виділених із парентеральних та потомствених стад, був подібним. У досліджених ізолятів було виявлено високий рівень резистентності до амоксициліну, амоксиклаву, доксицикліну, тетрацикліну та енрофлоксацину. Понад 70 % виділених АРЕС були невразливими до згаданих антимікробних препаратів. Найефективнішими антибіотиками виявилися колістин, гентаміцин та флорфенікол, стійкість до яких спостерігалася лише 0,0 % та 2,0 %; 14,3 та 9,8 %; 7,1 % та 2,0 % виділених АРЕС від бройлерних племінних порід та курчат відповідно. **Висновки.** Отже, у цьому дослідженні встановлено безпосередній зв'язок між ізолятами АРЕС, виділеними від племінної птиці та курчат-бройлерів. Крім того, показано, що тривале лікування птахів призводило до формування мультирезистентних штамів кишкової палички, які вражали курчат із перших днів життя. Вивчення процесу інфікування патогенними *E. coli* через інтегрований виробничий ланцюг може бути корисним для вжиття відповідних заходів щодо запобігання раннім випадкам колібактеріозу.

Ключові слова: патогенна пташина кишкова паличка (АРЕС), стійкість до антибіотиків, колібактеріоз.

ARTICLE HISTORY. Submitted 26 June 2025. Accepted 30 June 2025. Published 18 August 2025

Відомості про авторів
Authors Information

Нечипуренко Олексій Олександрович – кандидат біологічних наук, старший викладач кафедри біології факультету природничих наук Національного університету «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА), докторант відділу антибіотиків Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України, Київ, Україна

Nechypurenko Oleksii – Candidate of Biological Sciences, Senior Lecturer at the Department of Biology of National University of Kyiv-Mohyla Academy (NaUKMA), PostDoc Program at Antibiotic Department of D. K. Zabolotny Institute of Microbiology and Virology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0009-0008-5803-6723>

ne4upura@ukr.net

Фуртат Ірина Михайлівна – кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології факультету природничих наук Національного університету «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА), Київ, Україна

Furtat Iryna – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor at the Biology Department of National University of Kyiv-Mohyla Academy (NaUKMA), Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-0681-2889>

furtat@ukma.edu.ua

Древал ь Денис Вікторович – магістр з ветеринарної медицини, завідувач відділу патанатомії та бактеріології ТОВ «Центр ветеринарної діагностики», Київ, Україна

Dreval Denis – Master in Veterinary Medicine, Head of Pathology and Bacteriology Department of Center for Veterinary Diagnostics, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0009-0008-0416-9619>

dreval_denis@ukr.net

Авдєєва Лілія Василівна – доктор медичних наук, професор, завідувачка відділу антибіотиків Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України, Київ, Україна

Avdeeva Liliya – Doctor of Science in Medicine, Professor, Head of Antibiotics Department, D. K. Zabolotny Institute of Microbiology and Virology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-8458-444X>

avdeeva_liliya@imv.ukr.net



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

DOI: 10.18523/2617-4529.2025.8.55-61

УДК 633.11:575:591.151

Созінова О. І.^{1,2}, Блюм Я. Б.²

¹ Інститут захисту рослин НААН, Україна

² Державна установа «Інститут харчової біотехнології та геноміки НАН України», Україна

ОДНОНУКЛЕОТИДНІ ПОЛІМОРФІЗМИ В ПОСЛІДОВНОСТЯХ ГЕНА *PINA* ДЕЯКИХ ДИПЛОЇДНИХ ВИДІВ РОДУ *AEGILOPS*

Види роду *Aegilops* L. є генетичним ресурсом для перенесення нових генів, зокрема нових алелів генів пуроіндолінів, у пшеницю м'яку. Пуроіндоліни *a* і *b* – низькомолекулярні білки, які визначають текстуру ендосперму зерна у *Triticum aestivum* та споріднених видів. Мета роботи – аналіз частот трапляння однонуклеотидних поліморфізмів (SNP) кодуючих послідовностей гена *Pina* диплоїдних видів егілопсів порівняно з референсною послідовністю сорту *T. aestivum* Chinese Spring серед послідовностей, представлених у базі NCBI.

З бази даних NCBI було відібрано послідовності гена *Pina* диплоїдних видів егілопсів: 32 послідовності *Ae. speltoides*, 8 послідовностей *Ae. bicornis*, 5 послідовностей *Ae. sharonensis*, 6 послідовностей *Ae. searsii*, 8 послідовностей *Ae. caudata*, 10 послідовностей *Ae. comosa* та 14 послідовностей *Ae. umbellulata*. Як референсну послідовність використовували послідовність гена пуроіндоліну *a* (алель *Pina-D1a*) DQ363911.1 сорту CS. Послідовності вирівнювали за допомогою програми MEGA 11.

Серед проаналізованих послідовностей гена *Pina* *Ae. speltoides*, *Ae. bicornis*, *Ae. sharonensis*, *Ae. searsii*, *Ae. caudata*, *Ae. comosa*, *Ae. umbellulata* сумарно виявлено SNP у 61 позиції кодуючої послідовності. У різних видів було від 11 до 30 SNP. Види егілопсів охарактеризовано за частотами трапляння нуклеотидних замін. У більшості видів егілопсів переважають несинонімічні заміни. SNP у двох позиціях трапляються у всіх досліджених диплоїдних видів егілопсів, а сім SNP є притаманними лише видам секції *Sitopsis*. Серед усіх проаналізованих видів егілопсів тільки *Ae. searsii* має SNP, що є унікальними для виду і зафіксовані у всіх представлених у базі даних послідовностях.

Ключові слова: пуроіндолін, SNP, *Aegilops*, *Pina*, радикальні амінокислотні заміни, консервативні амінокислотні заміни, синонімічні заміни.

Вступ

Види роду *Aegilops* L. є цінним генетичним ресурсом для перенесення нових генів, що визначають якість зерна та стійкість до абіотичних і біотичних факторів, у пшеницю *Triticum aestivum* L. (геномна формула AABBDD, $2n = 42$) [1-3]. За класифікацією Ван Слагерена (Van Slageren) [4], виділяють 22 види егілопсів. За деякими іншими таксономічними системами егілопси зараховують до роду *Triticum* [5]. Серед них 10 є диплоїдними видами ($2n = 14$). Це *Ae. tauschii* (DD) (синонім *Ae. squarrosa*), *Ae. speltoides* (SS), *Ae. bicornis* (S^bS^b), *Ae. longissima* (S^iS^i), *Ae. sharonensis* ($S^{sh}S^{sh}$),

Ae. searsii (S^sS^s), *Ae. caudata* (CC) (синонім *Ae. markgrafii*, *T. dichasians*), *Ae. comosa* (MM), *Ae. uniaristata* (NN), *Ae. umbellulata* (UU). *Ae. speltoides*, *Ae. bicornis*, *Ae. longissima*, *Ae. sharonensis*, *Ae. searsii* належать до секції *Sitopsis*, *Ae. caudata* – до секції *Cylindropyrum*, *Ae. comosa* та *Ae. uniaristata* – до секції *Comopyrum*, *Ae. umbellulata* – до секції *Aegilops*. *Ae. tauschii*, який є донором геному D пшениці м'якої, належить до секції *Vertebrata* [4,6]. Саме *Ae. tauschii* завдячує *T. aestivum* такою ознакою, як м'якозерність, рівень якої визначається алелями пуроіндолінових генів [7]. Локус *Ha*, що містить тісно зчеплені гени *Pina-D1* та

Pinb-D1, наявний на короткому плечі хромосоми 5D і відсутній на гомеологічних хромосомах 5A і 5B *T. aestivum* та *T. turgidum* [7,8].

Пуроіндоліни (пуроіндолін а та пуроіндолін б) – низькомолекулярні цистеїн- і триптофан-багаті білки зерна з надродини проламінів; пуроіндолін а складається зі 120 амінокислотних залишків [9]. У складі незрілого білкового продукту пуроіндолінових генів є сигнальний пептид із 19 амінокислотних залишків та невеликі N- та C-кінцеві фрагменти, які відщеплюються з формуванням зрілого білка. У позиції 66–73 у пуроіндоліну а (відносно початку незрілого білка) є триптофан-багатий домен, який ще називають триптофановим мотивом, WRWWKWWK [9]. Триптофан-багатий домен відповідає за антимікробні властивості пуроіндолінів [10]. Гени пуроіндолінів не містять інтронів [9] подібно до генів проламінів (гліадинів та субодинаць глютенінів), та, на відміну від власне проламінів та інших білків надродини проламінів, вони є лише в одичинній копії [11]. Алейний склад пуроіндолінів визначає текстуру зерна, яка, своєю чергою, впливає на помел зерна пшениці та водопоглинальні властивості борошна. Більшу кількість енергії, необхідну для помелу твердозерних зразків зерна пшениці порівняно з м'якозерними, пов'язують із сильнішою адгезією між поверхнями крохмальних гранул і білковим матриксом ендосперму зернівки [7,11,12].

Джерелом різноманітності генів пуроіндолінів для збагачення генофонду пшениці можуть бути різні види егілопсів [1]. Відповідні білки егілопсів також називають пуроіндолінами [13]. Послідовності пуроіндолінових генів різних видів егілопсів представлені в базі даних NCBI (National Center for Biotechnology Information) у результаті досліджень різних авторів [14–20]. Метою нашої роботи був аналіз частот трапляння одонуклеотидних поліморфізмів (SNP) кодуючих послідовностей гена *Pina* диплоїдних видів егілопсів секцій *Sitopsis*, *Cylindropyrum*, *Comorugum* та *Aegilops* порівняно з референсною послідовністю сорту *T. aestivum* Chinese Spring серед послідовностей, представлених у базі NCBI.

Матеріали і методи

З бази даних NCBI було відібрано послідовності гена *Pina* диплоїдних видів егілопсів *Ae. speltoides*, *Ae. bicornis*, *Ae. sharonensis*, *Ae. searsii*, *Ae. caudata*, *Ae. comosa* та *Ae. umbellulata*.

Послідовності *Ae. speltoides*: AY622788.2, AY622789.2, AY622787.2, JX648382.1, JX648381.1, JX648380.1, JX648379.1, JX648378.1, EU268474.1,

FJ898230.1, FJ898229.1, FJ898228.1, FJ898227.1, FJ898226.1, FJ898225.1, FJ898224.1, FJ898223.1, FJ898222.1, FJ898221.1, FJ898220.1, FJ898219.1, EU307588.1, EU307587.1, AJ302097.1, AJ302096.1, DQ269835.1, DQ269834.1, DQ269833.1, DQ269832.1, DQ269831.1, DQ269830.1, DQ269829.1.

Послідовності *Ae. bicornis*: AY622795.2, AY622794.2, FJ898215.1, FJ898207.1, AY608587.1, DQ269844.1, DQ269843.1, DQ269842.1.

Послідовності *Ae. sharonensis*: AY622796.2, EU268476.1, FJ898217.1, FJ898216.1, DQ269841.1.

Послідовності *Ae. searsii*: AY622793.2, AY622792.2, JX648377.1, JX648376.1, DQ269840.1, DQ269839.1.

Послідовності *Ae. caudata*: JX648375.1, JX648374.1, JX648373.1, JX648372.1, JX648371.1, AY608594.2, AY608586.1, DQ269848.1.

Послідовності *Ae. comosa*: JX648370.1, JX648369.1, JX648368.1, JX648367.1, FJ898210.1, FJ898211.1, FJ898209.1, FJ898206.1, DQ269846.1, DQ269845.1.

Послідовності *Ae. umbellulata*: JX648389.1, JX648388.1, JX648387.1, JX648386.1, JX648385.1, JX648384.1, JX648383.1, LC375780.1, LC375779.1, LC375778.1, LC375777.1, LC375776.1, LC375775.1, DQ269847.1.

Референсною послідовністю слугувала послідовність гена пуроіндоліну а (алеель *Pina-D1a*) DQ363911.1 сорту *T. aestivum* Chinese Spring (CS) з бази даних NCBI. Послідовності вирівнювали за допомогою програми MEGA 11 [21]. Аналіз відмінностей від референсної послідовності (SNP або заміни) проводили лише для кодуючих послідовностей. Заміни в нуклеотидних і амінокислотних послідовностях характеризували згідно з класифікацією, наведеною в [22], як синонімічні та несинонімічні. Несинонімічні заміни, своєю чергою, поділяли на радикальні та консервативні. Істотність відмінностей частот аналізували за допомогою критерію χ^2 .

Результати та обговорення

Проведено аналіз відмінностей від референсної послідовності гена пуроіндоліну а сорту пшениці CS у послідовностях гена *Pina* диплоїдних видів егілопсів *Ae. speltoides* (32 послідовності), *Ae. bicornis* (8), *Ae. sharonensis* (5), *Ae. searsii* (6), *Ae. caudata* (8), *Ae. comosa* (10), *Ae. umbellulata* (14). SNP та частоти їх трапляння серед вибірки послідовностей певного виду показано в таблиці 1. SNP траплялись у 11–30 позиціях, залежно від виду, найбільше їх було у *Ae. speltoides* (30) і найменше у *Ae. comosa* (11). У більшості видів егілопсів серед SNP переважну частку становили несинонімічні заміни

(табл. 2). Сумарно для всіх видів це співвідношення становить 75 : 46, що істотно відрізняється від 1 : 1 ($\chi^2 = 6,95$, $P < 0,01$).

У всіх проаналізованих видів егілопсів з високою частотою (77,8–100 %) траплялась синонімічна заміна в позиції 24 (A→C), лише у *Ae. umbellulata* її частота була 43,9 %. Таку заміну також мають усі послідовності *Pina* диплоїдних пшениць *T. monococtum* (A^mA^m) і *T. urartu* (AA) [23]. Ще однією заміною, що траплялась у всіх досліджених видів егілопсів, була заміна в позиції 268 (A→C), яка призводила до заміни метіоніну на лейцин в амінокислотній позиції 90 поблизу триптофан-багатого домена. Частота такої заміни була від 87,5 до 100 % у видів секції Sitopsis, а також 100 % у *Ae. comosa*, проте була значно нижчою у видів *Ae. caudata* та *Ae. umbellulata*. Низка SNP були притаманними лише егілопсам секції Sitopsis: у позиціях 154 (C→T), 209 (A→G), 415 (A→G), 422 (C→G), 424 (G→A), 431 (T→G) та 443 (G→A). Заміни в позиціях 154 та 443 синонімічні, а решта призводять до консервативних (SNP 209, 424) і радикальних (SNP 415, 422, 431) амінокислотних змін.

Заміна в позиції 121 (G→C), що призводить до консервативної заміни валіну на лейцин, є характерною для послідовностей *Ae. speltooides*, *Ae. bicornis*, *Ae. sharonensis* (87,5–100 %) і трапляється у 30 % послідовностей *Ae. comosa*, є рідкісною у *Ae. umbellulata*, але її не виявлено у *Ae. searsii* та *Ae. caudata*. Аналогічну заміну мають також *T. monococtum* і *T. urartu* [23]. У цій самій позиції 50 % послідовностей *Ae. umbellulata* мають іншу заміну – G→A, яка призводить до заміни валіну на ізолейцин. Така сама заміна з низькою частотою наявна серед послідовностей *Ae. speltooides*. Крім згаданих вище SNP, для *Ae. speltooides* також є характерними синонімічні заміни в позиціях 230 і 270. У всіх послідовностях *Ae. sharonensis*, на відміну від інших видів секції Sitopsis, є SNP в позиції 89 (T→C) (результатом є заміна валіну на аланін). Заміна в позиції 139 (T→G) є характерною для *Ae. sharonensis* та *Ae. bicornis*. Усі послідовності *Ae. searsii* мають SNP у позиціях 7, 162, 186 на відміну від інших видів егілопсів.

Серед 18 SNP, які трапляються в послідовностях *Pina* *Ae. umbellulata*, високі частоти понад 75 % мають лише три: в позиції 230 (синонімічна заміна), 257 (G→A), призводить до радикальної заміни амінокислот, аргінін→глутамін, та 392 (G→A, заміна аргініну на лізин). Серед п'яти SNP, притаманних лише *Ae. caudata*, з високою частотою (75,0 %) представлені лише дві: в позиції 136 (A→C) і 273 (A→G). Перша заміна є радикальною (аспарагін на гістидин), а друга синонімічною.

Серед усіх проаналізованих видів егілопсів лише *Ae. searsii* має SNP, що є унікальними для виду і зафіксовані у всіх представлених у базі даних послідовностях. Це синонімічні заміни в позиціях 162 і 186, які можна використати для розробки специфічних праймерів для ідентифікації цього виду серед інших видів секції Sitopsis.

Зразки егілопсів можуть бути джерелом нових алелів для створення генотипів пшениці з новими властивостями щодо рівня м'язокзерності та антимікробної дії. Очевидно, що найбільш значні відмінності спостерігатимуться для алельних варіантів із замінами в триптофановому домені або поблизу (амінокислотні позиції 66–73 у незрілому білку пуроіндоліну α). Відмінності в послідовності ділянки, що відповідає триптофановому домену, мають усі види секції Sitopsis у нуклеотидній позиції 209 (A→G), що відповідає амінокислотній позиції 70 і призводить до заміни лізину на аргінін. Практично всі послідовності видів секції Sitopsis, *Ae. comosa* та частина послідовностей *Ae. umbellulata* та *Ae. caudata* мають заміну в позиції 268, яка реалізується в заміні метіоніну на лейцин в амінокислотній позиції 90. Ще одним потенційно важливим SNP є SNP у позиції 257, що призводить до радикальної заміни аргініну на глутамін у позиції 86. Такий SNP є в більшості послідовностей *Ae. umbellulata* та в одиничних послідовностях *Ae. speltooides*, *Ae. bicornis* та *Ae. caudata*. Така сама заміна в позиції 257 наявна у всіх послідовностях диплоїдних пшениць *T. monococtum* і *T. urartu*, які мають екстрем'язокзерну текстуру зерна [23]. Загалом, егілопсам притаманна м'яка структура зерна. Зокрема, Чен та ін. (Chen et al.) [16] аналізували рівень твердозерності зразків *Ae. longissima*, *Ae. sharonensis*, *Ae. bicornis*, а також поліплоїди *Ae. kotschyi* (UUSS), *Ae. triuncialis* (UUCS), *Ae. juvenalis* (DDMMUU) і виявили м'язокзерну текстуру зерна у всіх зразків, крім одного зразка *Ae. sharonensis*. Твердозерні зразки *Ae. umbellulata* також виявили Окада та ін. (Okada et al.) [20,24], що вказує на широку різноманітність пуроіндолінових алелів егілопсів щодо рівня м'язокзерності.

Висновки

Серед проаналізованих послідовностей егілопсів *Ae. speltooides*, *Ae. bicornis*, *Ae. sharonensis*, *Ae. searsii*, *Ae. caudata*, *Ae. comosa*, *Ae. umbellulata* сумарно виявлено SNP у 61 позиції кодуючої послідовності гена *Pina*. У більшості видів переважають несинонімічні заміни. Два SNP трапляються у всіх досліджених видів егілопсів, а сім SNP є притаманними лише видам секції Sitopsis. Унікальні видоспецифічні SNP виявлено лише для *Ae. searsii*.

Роботу виконано в межах НДР 0125U001978.

Відмінності в послідовності гена <i>Pina</i> диплоїдних видів егілопсів від референсної послідовності							
Позиція в гені	CS	SNP	Позиція в АК послідовності	АК CS	Заміна АК	Характер заміни*	<i>Ae. speltoides</i>
1	A	T	1	M	L	C	
7	G	A	3	A	T	R	0,031
10	C	T	4	L	F	C	
23	G	C				S	0,250
24	A	C				S	0,969
27	G	C				S	
33	T	A				S	
36	G	C				S	
41	C	T	14	A	V	C	
57	G	A				S	
66	C	A	22	S	R	R	
66	C	T				S	
67	G	A	23	E	K	R	0,063
73	G	C				S	
78	C	T				S	0,125
82	T	A	28	Y	N	R	
89	T	C	30	V	A	C	0,031
96	C	T				S	0,031
97	G	A	33	G	R	R	0,031
100	G	T	34	G	C	R	
104	G	C	35	G	A	C	
105	T	A	36			S	0,031
106	G	C	36	A	P	C	0,313
121	G	C	41	V	L	C	0,969
121	G	A	41	V	I	C	0,031
130	A	G	44	K	E	R	
136	A	C	46	N	H	R	
138	T	A	46			S	
139	T	G	47	S	A	R	0,031
140	C	A	47	S	A	R	0,031
141	T	G	47	S	L	R	0,031
154	C	T				S	0,969
162	T	C				S	
186	C	T				S	
189	G	A				S	
201	T	C				S	
209	A	G	70	K	R	C	0,969
230	A	T				S	0,969
231	A	G				S	
249	T	C				S	
256	C	T				S	
257	G	A	86	R	Q	R	0,031
268	A	C	90	M	L	C	0,969
270	G	A				S	0,938
273	A	G				S	
314	G	T	105	G	V	C	
316	G	A	106	D	N	R	0,031
320	T	A	107	L	H	R	
333	C	T				S	
351	G	A				S	
382	C	A	128	L	M	C	
390	C	T				S	0,031
392	G	A	131	R	K	C	0,031
399	C	T				S	
400	C	G	134	Q	E	R	
415	A	G	139	N	D	R	0,969
422	C	G	141	P	R	R	0,969
424	G	A	142	G	S	C	0,969
429	T	C				S	0,125
431	T	G	144	I	S	R	0,969
443	G	A				S	0,844

Таблиця 1

сорту Chinese Spring (CS) та відмінності в амінокислотній (АК) послідовності					
<i>Ae. sharonensis</i>	<i>Ae. searsii</i>	<i>Ae. bicornis</i>	<i>Ae. umbellulata</i>	<i>Ae. comosa</i>	<i>Ae. caudata</i>
			0,143		
	1,000				0,500
	0,333				
1,000	1,000	0,875	0,429	1,000	0,875
				0,300	
				0,300	
			0,143	0,600	0,125
			0,143		
		0,125			
				0,600	0,125
					0,250
0,200					
					0,125
1,000			0,143	1,000	0,125
			0,286		
	0,333				
1,000		0,875	0,071	0,300	
			0,500		
		0,25			
					0,750
0,400					
1,000		0,875			
			0,286		
			0,500		
1,000	1,000	0,875			
	1,000				
	1,000				
0,400					
				0,300	
1,000	1,000	0,875			
			0,786		
	0,333				
0,200					
			0,286		
		0,125	0,857		0,125
1,000	1,000	0,875	0,143	1,000	0,125
					0,750
			0,071		
0,400					
			0,071		
0,200		0,25			
0,200					
				0,100	0,125
			0,857		
				0,100	
			0,071		
1,000	1,000	0,875			
1,000	1,000	0,875			
1,000	1,000	0,875			
0,200					
1,000	1,000	0,875			
1,000	0,833	0,875			

Таблиця 2

**Кількість синонімічних (S), консервативних (C)
і радикальних (R) замін у кодуючій послідовності гена *Pina* диплоїдних видів егілопсів**

Вид	Кількість замін			
	C	R	S	Разом
<i>Ae. speltooides</i>	8	11	11	30
<i>Ae. sharonensis</i>	5	5	10	20
<i>Ae. searsii</i>	5	4	6	15
<i>Ae. bicornis</i>	4	6	5	15
<i>Ae. umbellulata</i>	8	6	4	18
<i>Ae. comosa</i>	4	1	6	11
<i>Ae. caudata</i>	3	5	4	12

References

- Kilian B, Mammen K, Millet E, Sharma R, Graner A, Salamini F, Hammer K, Özkan H. *Aegilops*. In: Kole C, editor. Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag; 2011. p. 1-76. doi:10.1007/978-3-642-14228-4
- Ceoloni C, Kuzmanović L, Ruggeri R, Rossini F, Forte P, Cuccurullo A, et al. Harnessing genetic diversity of wild gene pools to enhance wheat crop production and sustainability: Challenges and opportunities. *Diversity*. 2017 Dec 1;9(4):55. doi:10.3390/d9040055
- Kishii M. An update of recent use of *Aegilops* species in wheat breeding. *Front Plant Sci*. 2019 May 9;10. doi:10.3389/fpls.2019.00585
- Van Slageren MW. Wild wheats: a monograph of *Aegilops* L. and *Amblyopyrum* (Jaub. & Spach) Eig (Poaceae). Wageningen Agricultural University Papers; 1994. 512 p.
- Kimber G, Feldman M. Wild Wheat, an Introduction. Columbia: College of Agriculture University of Missouri Special Report 353; 1987. 146 p.
- Feldman M, Levy AA. Wheat Evolution and Domestication. Cham: Springer International Publishing; 2023. doi:10.1007/978-3-031-30175-9
- Pauly A, Pareyt B, Fierens E, Delcour JA. Wheat (*Triticum aestivum* L. and *T. turgidum* L. ssp. *durum*) kernel hardness: II. Implications for end-product quality and role of puroindolines therein. *Comp Rev Food Sci Food Saf*. 2013 Jun 12;12(4):427-38. doi:10.1111/1541-4337.12018
- Turnbull KM, Turner M, Mukai Y, Yamamoto M, Morell MK, Appels R, Rahman S. The organization of genes tightly linked to the *Ha* locus in *Aegilops tauschii*, the D-genome donor to wheat. *Genome*. 2003 Apr 1;46(2):330-8. doi:10.1139/g02-124
- Gautier MF, Aleman ME, Guirao A, Marion D, Joudrier P. *Triticum aestivum* puroindolines, two basic cysteine-rich seed proteins: cDNA sequence analysis and developmental gene expression. *Plant Mol Biol*. 1994 Apr;25(1):43-57. doi:10.1007/bf00024197
- Morris CF. The antimicrobial properties of the puroindolines, a review. *J Microbiol Biotechnol*. 2019 May 27;35(6). doi:10.1007/s11274-019-2655-4
- Morris CF. Puroindolines: the molecular genetic basis of wheat grain hardness. *Plant Mol Biol*. 2002 Jan 1;48(5/6):633-47. doi:10.1023/a:1014837431178
- Shewry P (2022) Wheat grain proteins: past, present and future. *Cereal Chem*. 100(1):9-22. doi:10.1002/cche.10585
- Morris CF, Luna J, Caffè-Treml M. The vromindolines of cv. *Hayden* oat (*Avena sativa* L.) – A review of the Poaceae and Triticeae indolines and a suggested system for harmonization of nomenclature. *J Sci*. 2021 Jan;97:103135. doi:10.1016/j.jcs.2020.103135
- Li W, Huang L, Gill BS. Recurrent deletions of puroindoline genes at the grain hardness locus in four independent lineages of polyploid wheat. *Plant Physiol*. 2007 Nov 16;146(1):200-12. doi:10.1104/pp.107.108852
- Lillemo M, Cosimo Simeone M, Morris CF. Analysis of puroindoline a and b sequences from *Triticum aestivum* cv. 'Penawawa' and related diploid taxa. *Euphytica*. 2002; 126(3):321-31. doi:10.1023/A:1019908325078
- Chen M, Wilkinson M, Tosi P, He G, Shewry P. Novel puroindoline and grain softness protein alleles in *Aegilops* species with the C, D, S, M and U genomes. *Theor Appl Genet*. 2005 Aug 17;111(6):1159-66. doi:10.1007/s00122-005-0047-7
- Massa AN, Morris CF. Molecular evolution of the puroindoline-a, puroindoline-b, and grain softness protein-1 genes in the tribe *Triticeae*. *J Mol Evol*. 2006 Jul 28;63(4):526-36. doi:10.1007/s00239-005-0292-z
- Li W, Huang L, Gill BS. Recurrent deletions of puroindoline genes at the grain hardness locus in four independent lineages of polyploid wheat. *Plant Physiol*. 2007 Nov 16;146(1):200-12. doi:10.1104/pp.107.108852
- Cuesta S, Guzmán C, Alvarez JB. Allelic diversity and molecular characterization of puroindoline genes in five diploid species of the *Aegilops* genus. *J Exp Bot*. 2013 Sep 21; 64(16):5133-43. doi:10.1093/jxb/ert299
- Okada M, Ikeda TM, Yoshida K, Takumi S. Effect of the U genome on grain hardness in nascent synthetic hexaploids derived from interspecific hybrids between durum wheat and *Aegilops umbellulata*. *J Cereal Sci*. 2018 Sep;83:153-61. doi:10.1016/j.jcs.2018.08.011
- Tamura K, Stecher G, Kumar S. MEGA11: Molecular evolutionary genetics analysis Version 11. *Mol Biol Evol*. 2021 Apr 23;38(7):3022-7. doi:10.1093/molbev/msab120
- Zhang J. Rates of conservative and radical nonsynonymous nucleotide substitutions in mammalian nuclear genes. *J Mol Evol*. 2000 Jan;50(1):56-68. doi:10.1007/s002399910007
- Guzmán C, Caballero L, Martín MA, Alvarez JB. Molecular characterization and diversity of the *Pina* and *Pinb* genes in cultivated and wild diploid wheat. *Mol Breed*. 2011 Jun 18;30(1):69-78. doi:10.1007/s11032-011-9599-1
- Okada M, Michikawa A, Yoshida K, Nagaki K, Ikeda TM, Takumi S. Phenotypic effects of the U-genome variation in nascent synthetic hexaploids derived from interspecific crosses between durum wheat and its diploid relative *Aegilops umbellulata*. *PLoS ONE*. 2020 Apr 2;15(4):e0231129. doi:10.1371/journal.pone.0231129

O. Sozinova^{1,2}, Ya. Blume²

¹ Institute of Plant Protection NAAS, Ukraine

² Institute of Food Biotechnology and Genomics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine

SINGLE NUCLEOTIDE POLYMORPHISMS IN *Pina* GENE SEQUENCES OF SOME DIPLOID SPECIES OF THE GENUS *Aegilops*

Abstract

Species of the genus *Aegilops* L. are a genetic resource for transferring new genes, in particular new alleles of puroindoline genes, into common wheat. Puroindolines a and b are low molecular weight proteins that determine the grain endosperm texture in *Triticum aestivum* and related species. The aim of the study was to analyze frequencies of single nucleotide polymorphisms (SNPs) in the coding sequences of the *Pina* gene in diploid *Aegilops* species in comparison with the reference sequence of the *T. aestivum* variety Chinese Spring (CS) among sequences available in the NCBI database.

Sequences of the *Pina* gene of diploid *Aegilops* species were selected from the NCBI database, comprising 32 sequences of *Ae. speltoides*, 8 sequences of *Ae. bicornis*, 5 sequences of *Ae. sharonensis*, 6 sequences of *Ae. searsii*, 8 sequences of *Ae. caudata*, 10 sequences of *Ae. comosa*, and 14 sequences of *Ae. umbellulata*. The sequence of the puroindoline a gene (the *Pina-D1a* allele) DQ363911.1 of CS was used as a reference. The sequences were aligned using the MEGA11 software.

Among the sequences of the *Pina* gene of *Ae. speltoides*, *Ae. bicornis*, *Ae. sharonensis*, *Ae. searsii*, *Ae. caudata*, *Ae. comosa*, and *Ae. umbellulata*, a total of 61 SNPs were detected in the coding sequence. Different species showed between 11 and 30 SNPs. The *Aegilops* species were characterized with respect to the frequencies of nucleotide substitutions. In the majority of *Aegilops* species, nonsynonymous substitutions predominate. SNPs at two positions occur in all the diploid *Aegilops* species, and seven SNPs are characteristic of only the species from the section Sitopsis. Among the *Aegilops* species, only in *Ae. searsii* there are species-specific SNPs that are fixed in all its sequences presented in the database.

Keywords: puroindoline, SNP, *Aegilops*, *Pina*, radical amino acid substitutions, conserved amino acid substitutions, synonymous substitutions.

ARTICLE HISTORY. Submitted 9 May 2025. Accepted 26 May 2025. Published 18 August 2025

Відомості про авторів Authors Information

Созінова Оксана Ігорівна – молодший науковий співробітник Інституту захисту рослин НААН, Київ, Україна; аспірантка Державної установи «Інститут харчової біотехнології та геноміки НАН України», Київ, Україна

Sozinova Oksana – Junior Researcher of Institute of Plant Protection NAAS, Kyiv, Ukraine; PhD student of Institute of Food Biotechnology and Genomics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-0981-3433>

sozinovaoksana1@gmail.com

Блюм Ярослав Борисович – академік НАН України, професор, доктор біологічних наук, директор Державної установи «Інститут харчової біотехнології та геноміки НАН України», Київ, Україна

Blume Yaroslav – Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine, Professor, Doctor of Biological Sciences, Director of Institute of Food Biotechnology and Genomics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-7078-7548>

cellbio@cellbio.freenet.viaduk.net



DOI: 10.18523/2617-4529.2025.8.62-69

УДК 502.4:581.522.6

Вишенська І. Г., Лисенко Д. О.

Національний університет «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА), Київ, Україна

МОНІТОРИНГ ІНВАЗІЙНИХ ДЕРЕВНИХ ВИДІВ РОСЛИН В УРБОЕКОСИСТЕМАХ МІСТА КИЄВА

У статті наведено результати моніторингу інвазійних деревних видів рослин на території міста Києва. У процесі дослідження за допомогою сервісу GBIF було виявлено 12 таких видів і показано, що найпоширенішими деревними інвазійними видами є клен ясенелистий (*Acer negundo* L.), робінія звичайна (*Robinia pseudoacacia* L.) та дуб червоний (*Quercus rubra* L.). Найбільш активним видом, що поширюється, є клен ясенелистий (*Acer negundo* L.). Проведене дослідження показало, що урбанізовані території, зокрема міста, є осередками швидкого поширення інвазійної флори через інтенсивний антропогенний вплив, порушення природних середовищ існування та недостатній контроль. Для ефективного поводження з інвазійними видами рослин на урбанізованих територіях України запропоновано такі заходи: систематичний моніторинг, біологічний контроль, механічні методи контролю, обмежений хімічний контроль, розроблення стратегій для поводження з адвентивними видами на загальнодержавному і місцевому рівнях та підтримка наукової діяльності в цій сфері.

Ключові слова: інвазійні деревні види рослин, моніторинг біорізноманіття, урбоекосистеми.

Вступ

Урбанізація є однією з найважливіших та швидко зростаючих глобальних тенденцій, що призводить до збільшення тиску на природні біотопи в містах. Інвазійні види рослин стають серйозною загрозою для біорізноманіття та екологічної стійкості урбанізованих територій, зокрема великих міст, як-от Київ. Дослідження їх поширення та впливу на міські екосистеми є актуальним завданням, оскільки це дасть можливість розробити ефективні заходи контролю та управління, спрямовані на збереження природного середовища та створення здорового й екологічно стійкого середовища для мешканців міста.

Урбанізовані території є осередками швидкого поширення інвазійної флори через інтенсивний антропогенний вплив, порушення природних середовищ існування та створення нових екологічних ніш. Найбільш поширеними інвазійними видами в Україні та українських містах є робінія звичайна (*Robinia pseudoacacia* L.), клен ясенелистий (*Acer negundo* L.) та айлант найвищий (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) [3,5].

Процеси поширення адвентивних видів рослин створюють істотну загрозу для фіторізноманітності на території України. Щороку кількість неаборигенних рослин збільшується, їхні місцезростання розширюються, а темпи їхнього занесення, поширення та ступінь натуралізації зростають. Флора України вирізняється високим рівнем адвентизації, адже адвентивні рослини становлять щонайменше 14 % від загальної кількості видів. На сьогодні спонтанна фракція адвентивної флори України налічує понад 830 видів судинних рослин, серед яких близько 50 є небезпечними інвазійними видами. Негативний вплив інвазійних видів на біорізноманіття особливо відчутний у регіонах, де природний рослинний покрив є дуже розрізненим. Ізоляція популяцій місцевих видів рослин, спричинена людською діяльністю, зростає, і вплив адвентивних видів рослин значно пришвидшує цей процес. Успішність інвазії залежить від того, наскільки ефективно вид може розширити свій потенційний ареал, утворюючи стійкі популяції в нових екосистемах [9]. Це відбувається не лише через антропогенний вплив, але й завдяки сприятливим

біотичним та абіотичним умовам без повторного внесення діаспор шляхом антропохорного поширення. У разі «повторного» саморозселення виду його ареал розширюється, проте цей процес може бути повільним через природні бар'єри, які потрібно подолати, хоча антропогенний вплив може пришвидшити цей процес. Більшість інвазійних видів в Україні розширюють свій ареал за допомогою дифузного та стрибкоподібного розповсюдження. Дифузне розширення відбувається переважно через саморозселення виду, тоді як утворення острівних ареалів відбувається за стрибкоподібного типу. Цей процес може бути результатом як природного розповсюдження діаспор на великі відстані (наприклад, за допомогою течії річок або перенесення птахами), так і антропохорного (наприклад, через культивування, транспорт або з насінням).

Інвазійні види в урбоекосистемах міст України є серйозною проблемою, яка впливає на місцеву флору та екологічну рівновагу. Інвазійні види, які поширюються в нових для них екосистемах і завдають шкоди, стають дедалі більшою загрозою для урбанізованих територій України. У 2023 році Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України запропонувало перелік чужорідних видів дерев, заборонених у відтворенні лісів. До переліку увійшли 13 видів: айлант найвищий, аралія маньчжурська, в'яз низький, гледичія колоча, горіх чорний, дуб червоний, каркас західний, клен ясенелистий, маслинка вузьколиста, павловнія (види та гібриди), робінія звичайна, черемха пізня, ясен пенсільванський [8].

Дослідження урбанізованої екосистеми Львова [8] упродовж 2014–2016 років показали, що, хоча синантропна флора переважно складається з апофітної фракції, кількість адвентивних рослин зростає в зонах, що зазнали техногенної трансформації. Серед деревних інвазійних видів переважають клен ясенелистий (*Acer negundo* L.) і робінія звичайна (*Robinia pseudoacacia* L.). Люди висаджують біля будинків, у скверах, парках і лісосмугах аморфу кущову (*Amorpha fruticosa* L.), маслинку вузьколисту (*Elaeagnus angustifolia* L.) та дуб червоний (*Quercus rubra* L.).

Серед деревних інвазійних видів у міських біотопах Харкова є клен ясенелистий (*Acer negundo* L.), робінія звичайна (*Robinia pseudoacacia* L.) та в'яз низький (*Ulmus pumila* L.) [4].

Проблема видів-вселенців настільки значна, що про необхідність координованих заходів контролю за ними зазначено в текстах міжнародних документів, як-от Конвенція про біологічне різноманіття та Бернська конвенція про охорону дикої флори і фауни та природних середовищ

існування в Європі. Європейський Союз ухвалив Стратегію біорізноманіття ЄС до 2030 року [10]. У грудні 2022 року 196 країн підписали Куньмінсько-Монреальську глобальну рамкову програму у сфері біорізноманіття [11]. У цих документах передбачено вимоги до контролю поширення інвазійних видів.

Об'єкти і методи дослідження

Біорізноманіття біотопів міста Києва залежить від його фізико-географічного розташування та геоморфологічної структури, яка має дві фізико-географічні зони: зону мішаних лісів Полісся та лісостепову зону. Місто розділене річкою Дніпро, що впливає на геоморфологічну та ландшафтну структуру. Північно-західна частина Києва належить до моренно-водно-льодовикової плоскої рівнини Київського Полісся, де трапляються дерново-середньопідзолисті ґрунти під бореальними та бореонеморальними лісами з *Pinus sylvestris* та *Quercus robur*.

Східна частина Києва, розташована на лівому березі Дніпра, охоплює першу та другу надзаплавні тераси річки. Перша надзаплавна тераса розташована на відстані 10–13 км і охоплює масиви Троєщина, Воскресенський, Дарниця. Друга надзаплавна тераса охоплює масиви Куликове, Лісовий, Биківня, які є зниженими давньоалювіальними дрібнохвилястими рівнинами з пісками та глинистими пісками, а також дерновослабко- та середньопідзолистими піщаними і супіщаними ґрунтами, де зростають сухі, свіжі бори та субори.

У низинних і притерасних місцях заболочені зниження та западини мають слабку дренажну систему і покриті лучно-болотними, болотними, торфово-болотними ґрунтами і торфовищами, де ростуть вологі трав'янисті рослини та вільшники. Ці умови характерні переважно для лівого берега в північно-східній, східній та південно-східній частині міста (наприклад, Вигурівщина, Троєщина, Лісовий, Харківський), а на правому березі – у північній частині (наприклад, масиви Оболонь, Мінський).

Для лісостепової зони міста характерні ландшафти широколистяних лісів (займають 39,4 % території), які охоплюють підвищені лісові рівнини і схили з сірими, ясно- та темно-сірими лісовими суглинками та легкосуглинковими ґрунтами [2]. Ці ландшафти сформувалися під свіжими судібровами та дібровами з *Quercus robur*, *Carpinus betulus*, а також із домішкою *Acer platanoides*, *Tilia cordata*, *Ulmus laevis*, рослинними утвореннями з різно-трав'ям і злаками. Лісостепові ландшафти поширені в центральній, південній і південно-західній частинах міста (Лук'янівка, Старокиївська гора,

Замкова гора, Печерськ, Лиса гора, Чорна гора, Байкова гора, Батисва гора, Голосіїв і Теремки).

Луки розташовані в низинних та притерасних заболочених зниженнях і западинах Дніпра, де покриття складається з лучно-болотних, болотних, торфово-болотних ґрунтів. Вербово-тополеві біотопи, які містять фрагменти вологих дібров, розташовані на слабкохвилястих заплавах рівнин з пісками, дерновими і лучними фрагментами, а також піщаними й супіщаними ґрунтами.

Згідно з дослідженням Я. П. Дідуха та У. М. Альошкіної [2], зелена зона міста Києва займає приблизно 428,9 км², що становить 51,3 % усієї площі міста. Найбільшу частину зелених зон становлять хвойні та мішані ліси з *Quercus robur*, *Pinus sylvestris* – 340,82 км² (40,8 %), розташовані у східній, північно-західній та західній частинах міста, переважно штучного походження. Загалом листяні ліси займають 88,09 км² (10,5 %). Зокрема, прирічкові ліси на піщаних терасах Дніпра з *Salix alba*, *Salix fragilis*, *Populus nigra*, *Populus tremula* займають 47,34 км² (5,7 %), а луки – 27,21 км² (3,2 %). Дубово-соснові та грабово-дубові ліси в лісостеповій частині на південному заході міста займають невелику частку – відповідно 52,51 км² (6,3 %) та 7,58 км² (0,9 %).

Для дослідження інвазійних деревних видів на території міста використовували сервіс GBIF. З його допомогою на адміністративній території міста Києва здійснювали пошук інвазійних деревних видів рослин. Чисельність кожного виду визначали в кількості його знахідок у цьому сервісі.

Результати дослідження та їх обговорення

Природна флора судинних рослин Києва має щонайменше 926 видів, які належать до 115 родин і 400 родів [1].

У природній флорі м. Києва переважають види з європейсько-західноазійським (33,26 %) та європейським (26,78 %) типами ареалу. Значну частку також становлять види з палеарктичним (циркумбореальним) (18,03 %) та голарктичним (15,55 %) типами ареалу. Частка видів із мультирегіональним та європейсько-американським типами ареалу становить 6,38 % [1].

Виявлених представників інвазійних деревних видів рослин у межах адміністративної території міста Києва наведено в табл. 1. З огляду на дані, зазначені в таблиці, найпоширенішими деревними інвазійними видами в м. Києві станом на 21.05.2024 є клен ясенелистий (*Acer negundo* L.) – 1203 знахідки, робінія звичайна (*Robinia pseudoacacia* L.) – 433 знахідки та дуб червоний (*Quercus rubra* L.) – 303 знахідки. Всі ці види північноамериканського походження. Найменша кількість знахідок припала на такі види: північноамериканський за походженням горіх чорний (*Juglans nigra* L.) – 4 та два далекосхідних види: коркове дерево амурське (*Phellodendron amurense*) – 11 і павловнія (*Paulownia*) – 15 знахідок.

Якщо порівняти з попередніми дослідженнями адвентивної флори міста Києва у 2002 році [12], то серед деревних видів новими є знахідки трьох видів: горіха чорного (*Juglans nigra* L.), коркового дерева амурського (*Phellodendron amurense*) та маслинка вузьколистий (*Elaeagnus angustifolia* L.).

Швидкість поширення інвазійних деревних видів рослин було оцінено для трьох найбільш поширених видів: робінія звичайна (*Robinia pseudoacacia* L.), клен ясенелистий (*Acer negundo* L.), дуб червоний (*Quercus rubra* L.). Мапи розташування знахідок кожного виду подано на рис. 1, 2 та 3 відповідно.

Таблиця 1

Кількість знахідок інвазійних деревних видів рослин у м. Києві (станом на 21.05.2024)

№ з/п	Вид	Кількість знахідок
1	Айлант найвищий (<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.))	241
2	В'яз низький (<i>Ulmus pumila</i> L.)	116
3	Гледичія колюча (<i>Gleditsia triacanthos</i> L.)	58
4	Горіх чорний (<i>Juglans nigra</i> L.)	4
5	Дуб червоний (<i>Quercus rubra</i> L.)	303
6	Каркас західний (<i>Celtis occidentalis</i>)	48
7	Коркове дерево амурське (<i>Phellodendron amurense</i>)	11
8	Клен ясенелистий (<i>Acer negundo</i> L.)	1203
9	Маслинка вузьколиста (<i>Elaeagnus angustifolia</i> L.)	37
10	Павловнія (<i>Paulownia</i>)	15
11	Робінія звичайна (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.)	433
12	Черемха пізня (<i>Prunus serotina</i> (Ehrh.) Ag.)	225

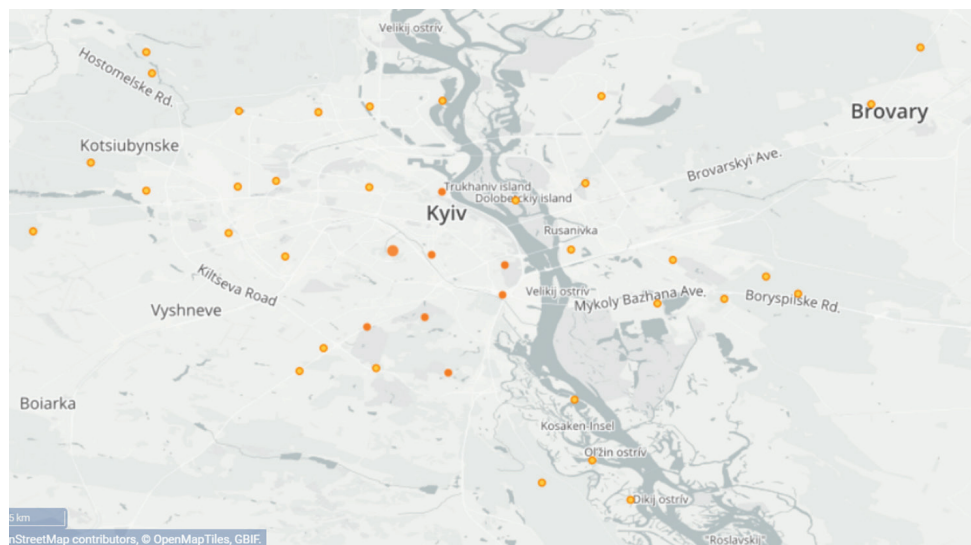


Рис. 1. Мапа розташування знахідок виду *Robinia pseudoacacia* L. на території міста Києва

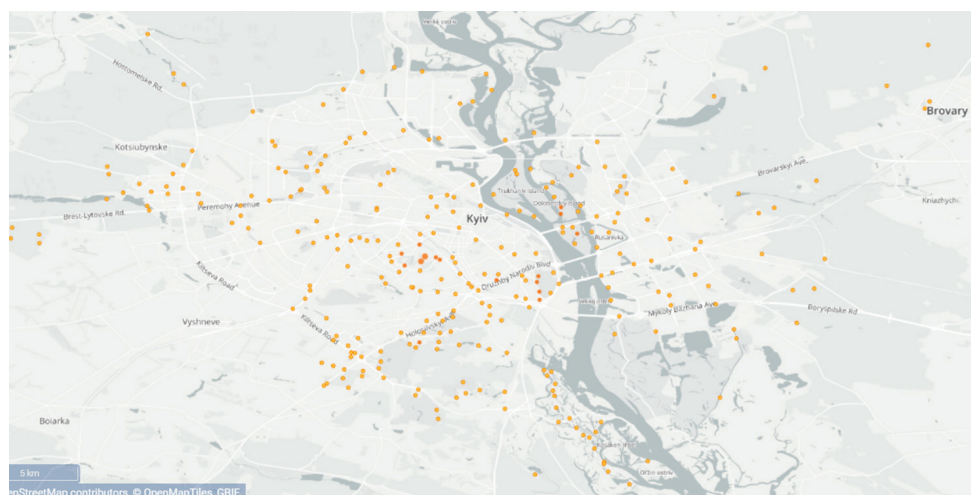


Рис. 2. Мапа розташування знахідок виду *Acer negundo* L. на території міста Києва

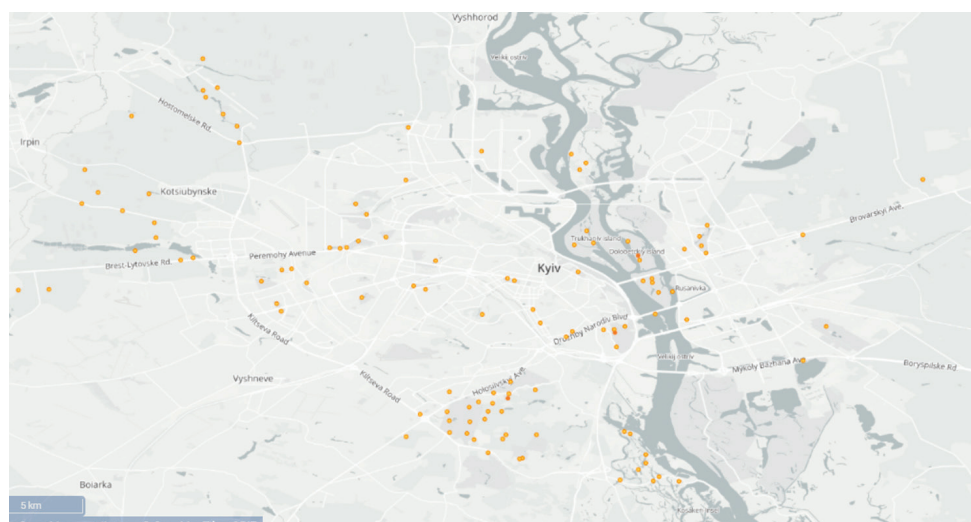


Рис. 3. Мапа розташування знахідок виду *Quercus rubra* L. на території міста Києва

Для дослідження було взято п'ятирічний період (з 2019 по 2024 рік). Кількість знахідок на території міста Києва найбільш поширених інвазійних деревних видів рослин за роками наведено в табл. 2 та на рис. 4.

За період з 2019 по 2024 рік загальна кількість знахідок робінії звичайної (*Robinia pseudoacacia* L.) становила 395, дуба червоного (*Quercus rubra* L.) – 267 і клена ясенелистого (*Acer negundo* L.) – 1125. Збільшення кількості нових точок появи цих видів відбувалось нерівномірно, що пов'язано саме з антропогенним чинником. Найбільше знахідок *Robinia pseudoacacia* L. було у 2021 році – 129, *Acer negundo* L. також у 2021 році – 463, а *Quercus rubra* L. у 2023 році – 79.

Динаміку збільшення знахідок цих інвазійних видів рослин показано на рис. 5. Найшвидший темп поширення на території м. Києва було встановлено для клена ясенелистого (*Acer negundo* L.).

Діаграма (рис. 4) показує кількість знахідок цих видів за роками, за період з 2019 року по 19.05.2024.

Ефективне управління інвазійними видами рослин на урбанізованих територіях України

потребує комплексного підходу та спільних зусиль урядових органів, наукових установ, громадських організацій та місцевого населення. Пропонуємо такі заходи для ефективного управління інвазійними видами рослин:

- Моніторинг та ідентифікація – проведення систематичного моніторингу для виявлення та ідентифікації інвазійних видів рослин на урбанізованих територіях. Це дасть змогу вчасно вживати заходів для їх контролю та уникнення подальшого поширення.

- Розроблення стратегій та планів дій – розроблення і впровадження стратегій та планів дій для управління інвазійними видами рослин, зокрема визначення пріоритетних видів для боротьби та методів їх контролю.

- Біологічний контроль – використання біологічних методів контролю: введення природних ворогів або конкурентних видів, що допомагають у зменшенні популяцій інвазійних видів рослин.

- Механічні методи – використання механічних методів, як-от ручне видалення або використання техніки для видалення рослин, може бути ефективним способом контролю за їхнім поширенням.

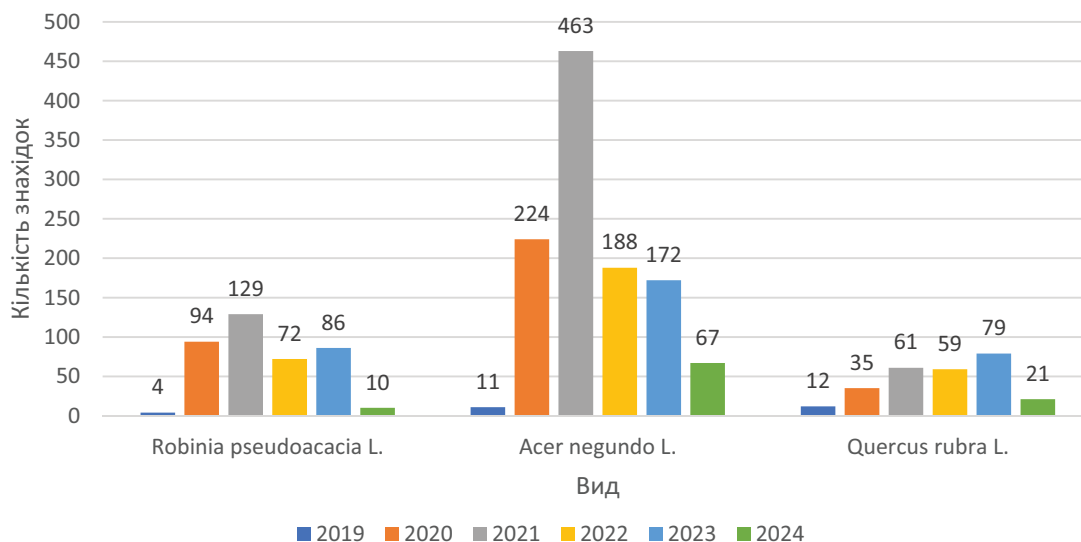


Рис. 4. Кількість знахідок трьох видів рослин за роками

Таблиця 2

Кількість знахідок на території м. Києва поширених інвазійних деревних видів рослин за роками

Вид	Кількість знахідок за роками						Разом
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	
Робінія звичайна (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.)	4	94	129	72	86	10	395
Клен ясенелистий (<i>Acer negundo</i> L.)	11	224	463	188	172	67	1125
Дуб червоний (<i>Quercus rubra</i> L.)	12	35	61	59	79	21	267

- Обмежений хімічний контроль – використання хімічних методів, як-от використання гербіцидів, для ефективного знищення інвазійних рослин у визначених місцях.

- Освітні та інформаційні кампанії – проведення освітніх та інформаційних кампаній серед місцевого населення щодо проблеми інвазійних видів рослин, їхнього впливу та методів контролю.

- Підтримка наукових досліджень – фінансування та підтримка наукових досліджень щодо інвазійних видів рослин, їх біології та методів контролю, для пошуку найефективніших рішень у цій сфері.

Протягом тривалого часу механічні та хімічні методи контролю за активністю інвазійних видів були найпоширенішими, але їхня ефективність і тривалість залишалися на низькому рівні [7]. Біологічний контроль, або, точніше, біологічне регулювання, яке базується на інтродукції природних ворогів інвазійних видів у межах їхнього вторинного ареалу, використання природних видів з високою конкурентоспроможністю, забезпечує стійкі результати стримування інвазійного процесу. Цей підхід активно розвивається та впроваджується в Європі та Північній Америці.

Висновки

Інвазійні рослини становлять серйозну загрозу для біорізноманіття України, оскільки вони витісняють місцеві види, змінюють структуру екосистем і знижують їхню стійкість до зовнішніх чинників. Урбанізовані території, зокрема міста, є осередками швидкого поширення

інвазійної флори через інтенсивний антропогенний вплив, порушення природних середовищ існування та створення нових екологічних ніш.

Дослідивши інвазійну урбанofлору міста Києва за допомогою сервісу GBIF, виявили, що найбільш поширеними деревними інвазійними видами є клен ясенелистий (*Acer negundo* L.), робінія звичайна (*Robinia pseudoacacia* L.) та дуб червоний (*Quercus rubra* L.). Для аналізу динаміки поширення інвазійних видів рослин у місті Києві було взято знахідки видів робінії звичайної (*Robinia pseudoacacia* L.), клена ясенелистого (*Acer negundo* L.), дуба червоного (*Quercus rubra* L.). Згідно з результатами проведених досліджень, найактивнішим видом, що поширюється, є клен ясенелистий (*Acer negundo* L.): у 2019 році зафіксовано 83 знахідки, а станом на 19.05.2024 – 1197 знахідок. Також було проаналізовано кількість знахідок за роками: найбільше знахідок *Robinia pseudoacacia* L. було у 2021 році – 129, *Acer negundo* L. також у 2021 році – 463, а *Quercus rubra* L. у 2023 році – 79.

Для ефективного поводження з інвазійними видами рослин на урбанізованих територіях України пропонуємо комплекс таких заходів: систематичний моніторинг, біологічний контроль, механічні методи контролю, обмежений хімічний контроль, розроблення стратегій для поводження з адвентивними видами та підтримка наукової діяльності в цій сфері. Орієнтиром для проведення місцевої політики зі збереження біорізноманіття природних біотопів міст України має стати Стратегія ЄС щодо біорізноманіття до 2030 року.

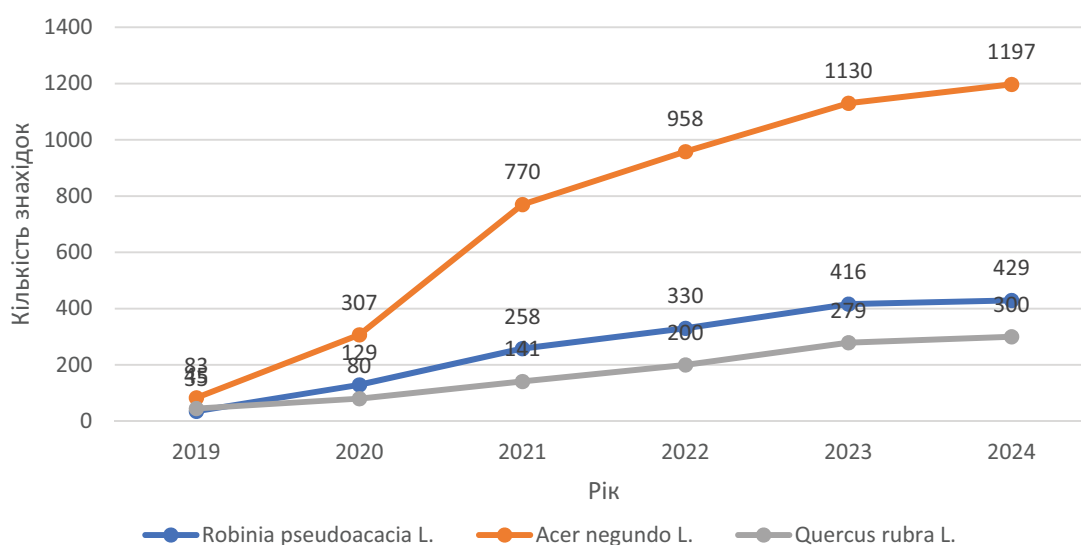


Рис. 5. Динаміка збільшення знахідок інвазійних видів рослин

Список літератури

1. Гречишкіна ЮВ. Природна флора судинних рослин м. Києва [автореферат дисертації]. Київ; 2010. 23 с.
2. Дідух ЯП, Альошкіна УМ. Класифікація екотопів міста Києва. Наукові записки НаУКМА. Біологія і екологія. 2006;54:50-7.
3. Зав'ялова ЛВ. Види інвазійних рослин, небезпечні для природного фіторізноманіття об'єктів природно-заповідного фонду України. Біологічні системи. 2017;9(2):87-107.
4. Звягінцева КО. Інвазійні види в урбанофлорі Харкова. Український ботанічний журнал. 2013;4:508-13.
5. Клименко ТК, Сягало ІО. Успішність впровадження інвазійних видів деревних рослин в урбофітоценози. Екологічні науки. 2020;1:328-34. doi:10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.53
6. Мамчур ЗІ, Чуба МВ, Драч ЮА. Інвазійні рослини в урбо-екосистемах Львова [Інтернет]. Доступно на: <https://bioweb.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2017/11/Invaziyni-roslyny-v-urboekosystemi-L-vova.pdf>
7. Мосякін АС. Сучасні методи біологічного контролю (біологічного регулювання) активності інвазійних рослин: приклади й перспективи застосування. Наукові основи збереження біотичної різноманітності. 2012;3(10):93-109.
8. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України [Інтернет]. Міндовкілля затвердило перелік чужорідних видів дерев, заборонених у відтворенні лісів; 5 травня 2023. Доступно на: <https://mepr.gov.ua/mindovkillya-zatverdyllo-perelik-chuzhoridnyh-vydiv-derev-zaboronenyh-u-vidtvorenni-lisiv/>
9. Протопопова ВВ, Шевера МВ. Інвазійні види у флорі України. I. Група високо активних видів. GEO&BIO. 2019;17:116-35.
10. Стратегія біорізноманіття ЄС до 2030 року: повернення природи в наше життя [Інтернет]. UNCG; 2020. Доступно на: <https://uncg.org.ua/stratehiia-bioriznomanittia-ies-do-2030-roku-povernennia-prirody-v-nashe-zhyttia/>
11. Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework (document CBD/COP/15/L25) [Internet]. Available from: <https://www.cbd.int/article/cop15-final-text-kunming-montreal-gbf-221222>
12. Mosyakin SL, Yavorska OG. The nonnative flora of the Kyiv urban area, Ukraine: a checklist and brief analysis. Urban Habitats. 2002;1(1):45-65.

References

1. Grechyshkina YuV. Natural flora of vascular plants of Kyiv [dissertation abstract]. Kyiv; 2010. 23 p. Ukrainian.
2. Didukh YaP, Alyoshkina UM. Classification of ecotopes of Kyiv city. NaUKMA Research Papers. Biology and Ecology. 2006;54:50-7. Ukrainian.
3. Zavyalova LV. Types of invasive plants, dangerous for the natural phytodiversity of objects of the nature reserve fund of Ukraine. Biological systems. 2017;9(2):87-107. Ukrainian.
4. Zvyagintseva KO. Invasive species in the urban flora of Kharkiv. Ukrainian Botanical Journal. 2013;4:508-513. Ukrainian.
5. Klymenko TK, Syagailo IO. The efficiency of implantation of invasive plant species into urban phytocenoses. Ecological Sciences. 2020;1(28):328-34. doi:10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.53. Ukrainian.
6. Mamchur ZI, Chuba MV, Drach YuA. Invasive plants in urban ecosystems of Lviv [Internet]. Available from: <https://bioweb.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2017/11/Invaziyni-roslyny-v-urboekosystemi-L-vova.pdf>. Ukrainian.
7. Mosyakin AS. Modern methods of biological control (biological regulation) of the activity of invasive plants: examples and prospects for application. Scientific foundations of the preservation of biological diversity. 2012;3(1):93-109. Ukrainian.
8. The Ministry of Environment approved the list of alien tree species prohibited in forest regeneration [Internet]. 2023. Available from: <https://mepr.gov.ua/mindovkillya-zatverdyllo-perelik-chuzhoridnyh-vydiv-derev-zaboronenyh-u-vidtvorenni-lisiv/>. Ukrainian.
9. Protopopova VV, Shevera MV. Invasive species in the flora of Ukraine. I. Group of highly active species. GEO&BIO. 2019;17:116-35. Ukrainian.
10. EU biodiversity strategy to 2030: returning nature into our lives [Internet]. UNCG. 2020. Available from: <https://uncg.org.ua/stratehiia-bioriznomanittia-ies-do-2030-roku-povernennia-prirody-v-nashe-zhyttia/>. Ukrainian.
11. Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework (document CBD/COP/15/L25) [Internet]. Available from: <https://www.cbd.int/article/cop15-final-text-kunming-montreal-gbf-221222>
12. Mosyakin SL, Yavorska OG. The nonnative flora of the Kyiv urban area, Ukraine: a checklist and brief analysis. Urban Habitats. 2002;1(1):45-65.

I. Vyshenska, D. Lysenko

National University of Kyiv-Mohyla Academy (NaUKMA), Kyiv, Ukraine

MONITORING OF INVASIVE WOODY PLANT SPECIES IN URBAN ECOSYSTEMS OF KYIV

Abstract

The article presents the results of monitoring invasive woody plant species in Kyiv. According to the research conducted using the GBIF service, 12 invasive woody species were identified: Ailanthus tree *Ailanthus altissima* (Mill.), Siberian elm *Ulmus pumila* L., honey locust *Gleditsia triacanthos* L., eastern American black walnut *Juglans nigra* L., red oak *Quercus rubra* L., hackberry *Celtis occidentalis*, Amur cork tree *Phellodendron amurense*, ash-leaved maple *Acer negundo* L., oleaster *Elaeagnus angustifolia* L., Paulownia *Paulownia tomentosa*, black locust *Robinia pseudoacacia* L., and black cherry *Prunus serotina* (Ehrh.) Ag. The most common invasive tree species in Kyiv as of May 21, 2024, were ash-leaved maple *Acer negundo* L. – 1,203 findings, black locust *Robinia pseudoacacia* L. – 433 findings, and red oak *Quercus rubra* L. – 303 findings. All of these species are native to North America. The species with the lowest numbers of findings were: North American black walnut *Juglans nigra* L. – 4, and two Far

Eastern species: Amur cork tree *Phellodendron amurense* – 11, and Paulownia *Paulownia tomentosa* – 15 findings. An analysis of the dynamics of invasive woody plant spread in Kyiv showed that ash-leaved maple *Acer negundo* L. is the most actively spreading species. Over the five-year period from 2019, the number of its findings increased from 83 to 1,197. Year-by-year analysis showed the highest number of findings for *Robinia pseudoacacia* L. in 2021 – 129, for *Acer negundo* L. also in 2021 – 463, and for *Quercus rubra* L. in 2023 – 79. The study showed that urbanized areas, particularly cities, are hotspots for the rapid spread of invasive flora due to intensive anthropogenic impact, habitat disturbance, and insufficient control measures. Proposals for effective management of invasive plant species in urbanized areas of Ukraine should include systematic monitoring, biological and mechanical control methods, limited chemical control, the development of strategies for managing adventitious species at both national and local levels, and support for scientific research in this field.

Keywords: invasive woody plant species, biodiversity monitoring, urban ecosystems.

ARTICLE HISTORY. Submitted 15 May 2025. Accepted 26 May 2025. Published 18 August 2025

Відомості про авторів Authors Information

Вишенська Ірина Георгіївна – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології Національного університету «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА), Київ, Україна

Vyshenska Iryna – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor at the Ecology Department of the National University of Kyiv-Mohyla Academy (NaUKMA), Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-2075-5705>

vyshenska@ukma.edu.ua

Лисенко Дарина Олександрівна – студентка бакалаврської програми «Екологія» кафедри екології Національного університету «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА), Київ, Україна

Lysenko Daryna – Student of the Bachelor's Program "Ecology" of Department of Ecology of the National University of Kyiv-Mohyla Academy (NaUKMA), Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0009-0005-0272-4226>

d.lysenko@ukma.edu.ua



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

DOI: 10.18523/2617-4529.2025.8.70-80
УДК 504.05:502/504

Дідух Я. П.¹, Мойсієнко І. І.^{1,2}, Кравченко О. В.³,
Муленко М. А.⁴, Полянська К. А.³, Чусова О. О.¹, Гетьман П. А.¹

¹ Інститут ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України, Київ, Україна

² Херсонський державний університет, Херсон, Україна

³ Міжнародна благодійна організація «Екологія-Право-Людина» (МБО ЕПЛ), Київ, Україна

⁴ Національний заповідник «Хортиця», Запоріжжя, Україна

ПОЧАТКОВІ ЕТАПИ ФОРМУВАННЯ ЗАПЛАВНИХ ЛІСІВ ДНИЩА КАХОВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА ТА ПРОГНОЗ ЇХНЬОГО РОЗВИТКУ

Дослідження осушеного днища Каховського водосховища у 2023–2024 рр. засвідчили швидке зростання *Salix rubens* Schrank, а у 2024 р. – *Populus alba* L. та *P. nigra* L. Встановлено, що середні показники кількості пагонів верби на кінець сезону 2023 р. становили 23 шт./м², у 2024 р. – 10,3 шт./м², а середня висота збільшилася зі 190 до 350 см. Співвідношення фітомаси стовбурів, гілок, листя та коренів на першому році розвитку становило 0,45:0,16:0,18:0,2. Розраховано показники наростання фітомаси дерев через 10, 20 та 50 років, їхні енергетичні запаси та функціональні (підтримувальні та регульовальні) екосистемні послуги в монетарному еквіваленті, що становлять відповідно 825, 1338 та 1523 у. о., за умови, що ліси займають 30 % площі від днища водосховища. Висвітлено екологічну роль заплавних тополево-вербових біотопів, що мають високе водорегульовальне, ґрунтотвірне, ремедіаційне значення, є оселищами великої кількості орніто- та ентомофауни. Ці біотопи охороняються на європейському рівні, а в Україні становлять 0,1 % площі лісів. порушено питання про недоцільність відновлення Каховського водосховища й необхідність ухвалення виваженого рішення з урахуванням економічного значення екологічної та історико-культурної цінності.

Ключові слова: Каховське водосховище, екоцид, тополево-вербові біотопи, заплава, екосистемні послуги.

Вступ

Російсько-українська війна завдала величезних збитків не тільки суспільству, економіці, але й природі. Важливим завданням науковців є розроблення методики як оцінювання таких збитків, так і відновлення екосистем до стабільного стану, прогнозування можливих негативних наслідків для їх мінімізації. Одним із найбільших екологічних злочинів був підрив Каховської гідроелектростанції (далі – Каховська ГЕС), що забезпечувала енергетичні потреби, функціонування Запорізької атомної електростанції, зрошення сільськогосподарських угідь, судноплавство. Руїнація спричинила, з одного боку, осушення

водосховища, а з іншого – затоплення південніших регіонів.

Згодом постало питання про відновлення водосховища. Уряд ухвалив відповідне рішення (Постанова КМ України № 326 від 20 березня 2022 р. «Про затвердження Порядку визначення шкоди та збитків, завданих Україні внаслідок збройної агресії Російської Федерації» [1]). Акцент було зроблено саме на відновлення, інші варіанти не розглядали, бо це давало можливість уникнути процедури оцінки впливу на довкілля (ОВД). Проте висловлювалися думки щодо інших проєктів або залишити Дніпро в природному стані, що дасть змогу відродити природу Великого Лугу.

Сьогодні ситуація складається так, що в найближчій перспективі відновлення неможливе, бо Лівобережжя залишається окупованим, правий берег обстрілюється. Тож на цій території розпочались природні процеси формування заплавних екосистем, і прогнозування їхнього розвитку є дуже важливим. Таке прогнозування ґрунтується на двох підходах: по-перше, на уявленні (вченні) про сукцесії рослинного покриву, які відображають напрямок розвитку, а по-друге – на термодинамічних підходах, які дають змогу оцінити зміну природних компонентів у кількісних показниках. Одним із ключових показників такого оцінювання є енергія, яку Ю. Одум [2] влучно назвав «екологічною валютою». Енергія як мірило зміни організації екосистем характеризується тим, що є одиниці її виміру, обрахунку, відомі співвідношення між показниками біомаси, вуглецю (гумусу), дихання, фотосинтезу тощо. На основі енергетичних показників можлива оцінка процесів кругообігу речовин, елементів, трофічних ланцюгів (живлення консументів, редуцентів), відомі закони перерозподілу її на різні рівні організації «піраміди енергії». З наукових позицій важливо оперувати термодинамічними законами, відповідно до яких розвиток рослинних угруповань спрямований на вдосконалення механізмів накопичення (фіксації) енергії, зменшення ентропії через удосконалення адаптивних властивостей видів. Тобто енергетичний потенціал є рушійною силою, яка визначає вектор розвитку екосистем, їхню самоорганізацію [3]. Енергетичні показники, форми їх накопичення та подальша трансформація характеризують відповідь екосистеми на зовнішній вплив або її «внесок» у зовнішнє середовище. Це знайшло втілення в поняттях екосистемних послуг, зокрема підтримувальних і регулювальних, які забезпечують стійкість, функціонування та розвиток екосистем, тобто відображають їхню роль у біосфері. Останнім часом замість енергії використовують показники карбону, що, з одного боку, мають матеріальну, фізичну основу, а з іншого – більшу для сприйняття розмірність ($1 \text{ кг C} = 28,2 \text{ МДж}$).

З огляду на такі теоретичні уявлення й підходи в цій статті ми акцентуємо увагу на оцінюванні показників біомаси та енергії різних стадій розвитку тополево-вербових заростей, які б дали змогу відобразити специфіку та часові зміни фітомаси та енергії в процесі розвитку від початкових стадій до формування заплавних лісових екосистем зрілого типу.

Оцінювання таких екосистемних послуг (навіть попри те, що не враховано ресурсних і соціально-інформаційних послуг) дає змогу

розрахувати екологічну складову значущості заплавних екосистем і на основі їх порівняння ухвалити виважене рішення щодо доцільності відбудови Каховської ГЕС.

Матеріали та методи дослідження

Матеріали для дослідження було отримано під час чотирьох польових виїздів у 2023–2024 рр. на територію Херсонської та Запорізької областей на ділянках днища Каховського водосховища та в межах о. Хортиці, де переважала верба або тополя. Дослідження проводили в період максимуму вегетації в літній та її завершення в осінній час. Три виїзди було здійснено на територію Національного природного парку «Кам'янська Січ»: перший виїзд – через 25 днів після руйнування дамби Каховської ГЕС (30 червня 2023 р.), другий – через 3,5 місяці (19 жовтня 2023 р.), третій – через 10 місяців (11 квітня 2024 р.). Під час перших двох виїздів відновлення вербових біотопів було обстежено на трьох ділянках у межах Національного природного парку «Кам'янська Січ»: 1) балка Кам'янка на схід від дамби (47.004532 N, 33.581613 E); 2) балка Милівська на захід від дамби (47.086039, 33.647000 E); 3) балка Милівська на схід від дамби (47.085281 E, 33.652056 N). Два виїзди (25 квітня та 20 жовтня 2024 р.) було здійснено до північної частини Каховського водосховища – м. Запоріжжя, с. Малокатеринівка (лівий берег) та с. Канівське (правий берег р. Дніпра).

Дослідження охоплювало візуальне оцінювання територій, проведення геоботанічних описів у доступних місцях. На облікових ділянках $4 \times 4 \text{ м}$ проводили підрахунок кількості особин верби та тополі, вимірювали їхні висоту, приріст за минулий та поточний рік, діаметр, підраховували кількість живих і відмерлих гілок. Для підрахунку біомаси відбирали по 10 пагонів верби і тополі середньої висоти, які зрізали на рівні ґрунту. Визначення біомаси проводили в лабораторії Інституту ботаніки ім. М. Г. Холодного, що передбачало відокремлення трьох фракцій (стовбура, гілок, листків) та їхнє зважування у свіжому та висушеному стані. Висушування проводили в термостаті протягом 72 годин за температури 70°C відповідно до методики оцінювання вмісту сухої речовини в листках та питомої щільності стебла [4].

На основі цих даних розраховували показники енергії ($1 \text{ кг C} = 28,2 \text{ МДж}$, або $1 \text{ т CO}_2\text{-екв} = 103,4 \text{ ГДж}$), оцінювали корелятивні зв'язки між показниками та будували прогнозні моделі подальшого розвитку деревостану, накопичення та трансформації їхніх енергетичних запасів, що характеризують функціональні екосистемні послуги.

Результати та їх обговорення

Вербові насадження, що формуються на ділянках Каховського водосховища, представлені переважно гібридом (*Salix*×*rubens* Schrank), що за формою та структурою листових пластинок мають ознаки верби білої (*Salix alba*). Тополя представлена двома видами – *Populus nigra* L. та *P. alba* L.

Заростання водосховища вербою відбувалося швидкими темпами. Через три тижні (30 червня 2023 р.) проростки верб сягали висоти 0,5 см і формували 2–3 перших листочки. Часто проростки розміщувалися у вигляді видовжених смуг, які корелювали з лінією тимчасових урізів води, що відходила. Їхня щільність досягала в середньому 90 ± 20 особин на 1 м^2 , або 900 тис. особин на 1 га. Цю короточасову, практично місячну стадію ми розглядаємо як ювенільну.

Парадоксальною є швидкість приросту верби: за 110 діб у другій половині літа та першій половині осені середній приріст становив 1,7 см за добу, а максимальний – 2,8 см. Висота заростей *Salix*×*rubens* на дні Каховського водосховища відповідає висоті після другого вегетаційного сезону *S. caprea* в Чехії [5]. Швидкому заростанню водосховища, напевно, сприяли достатня кількість вологи для проростання насіння та укорінення рослин, відсутність ранніх конкурентів, добре освітлення та прогрівання субстрату, високий вміст поживних речовин у мулистих відкладах, формування яких відбулось за рахунок родючих чорноземів.

Через 3,5 місяці на тих самих ділянках середня чисельність особин *Salix*×*rubens* зменшилася у 4 рази і становила в середньому 23 ± 6 особин на 1 м^2 , або 230 тис. особин на 1 га. Середня висота вербових заростей була близько 2 метрів (190 ± 5) за максимально заміряної висоти 309 см. Водночас спостерігалось на окремих пагонах галушення, що ідентифікується як імагурна стадія розвитку. Отже, за 3,5 місяці розвиток верби пройшов від проростків до імагурної стадії. На другому році онтогенетичного розвитку рослини *S.*×*rubens* переходять у віргінільну

стадію, коли висота верб у вологих багатих умовах досягла $347,91 \pm 32,05$ см, а на сухих бідних піщаних субстратах лише $208,2 \pm 22,5$ см. Швидкість росту *Populus nigra*, яка зростає на сухих бідних піщаних відкладах, значно менша ($124,9 \pm 11,6$ – $201,4 \pm 16,2$ см). Приріст пагонів деревних видів на другому році вегетації до кінця квітня 2024 р. становив близько третини від минулорічного приросту, що залежить від умов зволоження та багатства субстрату. У процесі росту пагонів спостерігається формування крони. Вже на початку другого вегетаційного сезону кількість бічних гілок збільшується і спостерігається галушення другого порядку. Відбувається відмирання деяких минулорічних гілочок. Крона в таких густих заростях, по суті, має конусоподібну форму. Розвиток *P. nigra* на сухих піщаних відкладах відбувається повільніше, і показники висоти та галушення пагонів нижчі. Детальніші результати цих польових досліджень викладено в попередній статті [6].

Наступний етап досліджень полягав в оцінюванні показників біомаси різних компонентів пагонів і співвідношень між ними. Ми відібрали 31 зразок верби та 10 зразків тополі за візуальними ознаками модельних середнього розміру рослин і провели зважування їхнього стовбура, гілок та листків у природному та сухому стані. За середньої висоти пагонів (219,30 см) середня жива вага стовбурів становила $97,62 \pm 70,2$ г, гілок – $33,85 \pm 25,9$ г, листків – $47,1 \pm 39,9$ г, а суха, відповідно, $47,84 \pm 29,47$, $17,17 \pm 13,17$ та $18,53 \pm 13,9$ г. Співвідношення сухої ваги до свіжого стану у *Salix*×*rubens* для стовбурів становить 0,49, гілок – 0,51, листових пластинок – 0,39. Для *P. nigra* ці показники значно нижчі: за середньої висоти пагонів ($124,9 \pm 11,6$ – $201,4 \pm 16,2$ см) жива вага стовбурів становила 71 ± 14 , гілок – $20 \pm 0,6$, листків – $31 \pm 0,9$, а суха – відповідно, $40 \pm 0,8$, $13 \pm 0,4$ та $16 \pm 0,5$ г, тобто коливалася у великих межах. Співвідношення сухої ваги до свіжого стану у *P. nigra* для стовбурів становить 0,55, гілок – 0,65, листків – 0,51 [7].

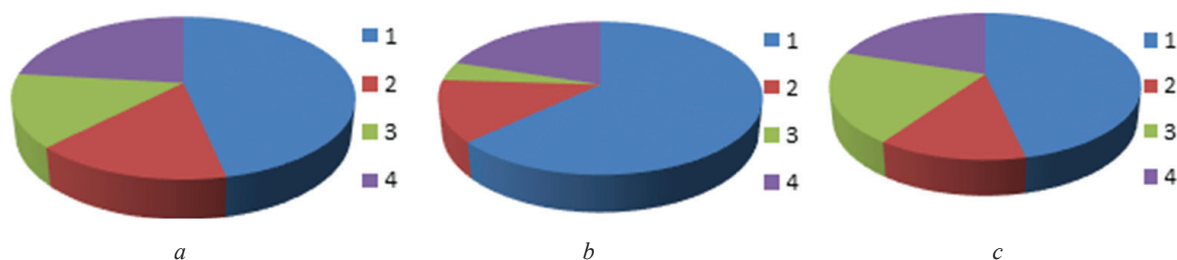


Рис. 1. Співвідношення між показниками біомаси: 1 – стовбур; 2 – гілки; 3 – листки; 4 – коренева система; а – однорічні *Salix*×*rubens*; б – дерева *Salix*×*rubens* у зрілому віці; с – однорічні *Populus nigra*

З урахуванням того, що підземна біомаса становить близько 20 % від загальної [7], ми побудували діаграми розподілу біомас однорічних пагонів верби, тополі, а також дерев верби зрілого віку (рис. 1, *a, b*). Як видно з цих діаграм, біомаса стовбурів однорічних пагонів становить менше ніж половину від загальної (45,8 %), а біомаса гілок, листків та кореневої системи приблизно однакова (16,5; 17,7; 20 %). У процесі розвитку до зрілого віку вага стовбурів досягає 65 %, гілок крони, кореневої системи, листків – 35 % [8] (рис. 1, *b*).

Встановлено лінійну залежність між показниками висоти, біомаси стовбурів, гілок та листків, що має велике значення для моделювання й оцінювання інших показників (рис. 2). Як видно з графіків, між цими показниками спостерігається високий ступінь лінійної залежності за достовірності $R^2 = (0,8-0,9)$. З огляду на це ключовою ознакою є висота пагонів, показники якої,

враховуючи небезпеку і складність отримання матеріалу, можна отримати легше і швидше.

На основі отриманих даних біомаси різних компонентів пагонів легко розрахувати енергетичні показники (у середньому енергоємність сухої фітомаси становить 18,06 кДж/г) [7].

З віком у процесі розвитку деревостану ці співвідношення будуть змінюватися, а кількість дерев на 1 га зменшуватиметься, тому показники енергетичних запасів будуть різнитися. За наведеними даними щодо росту верби в лісостеповій та степовій зонах [9] ми встановили залежність між віком деревостану та їхньою висотою (рис. 3, *a*), а також кількістю дерев на 1 га (рис. 3, *b*), хоча такий графік потребує корекції, бо у віці понад 70 років, коли розвиток дерев переходить у субсенільний період, спостерігається відмирання окремих частин – зниження приросту і запасів фітомаси.

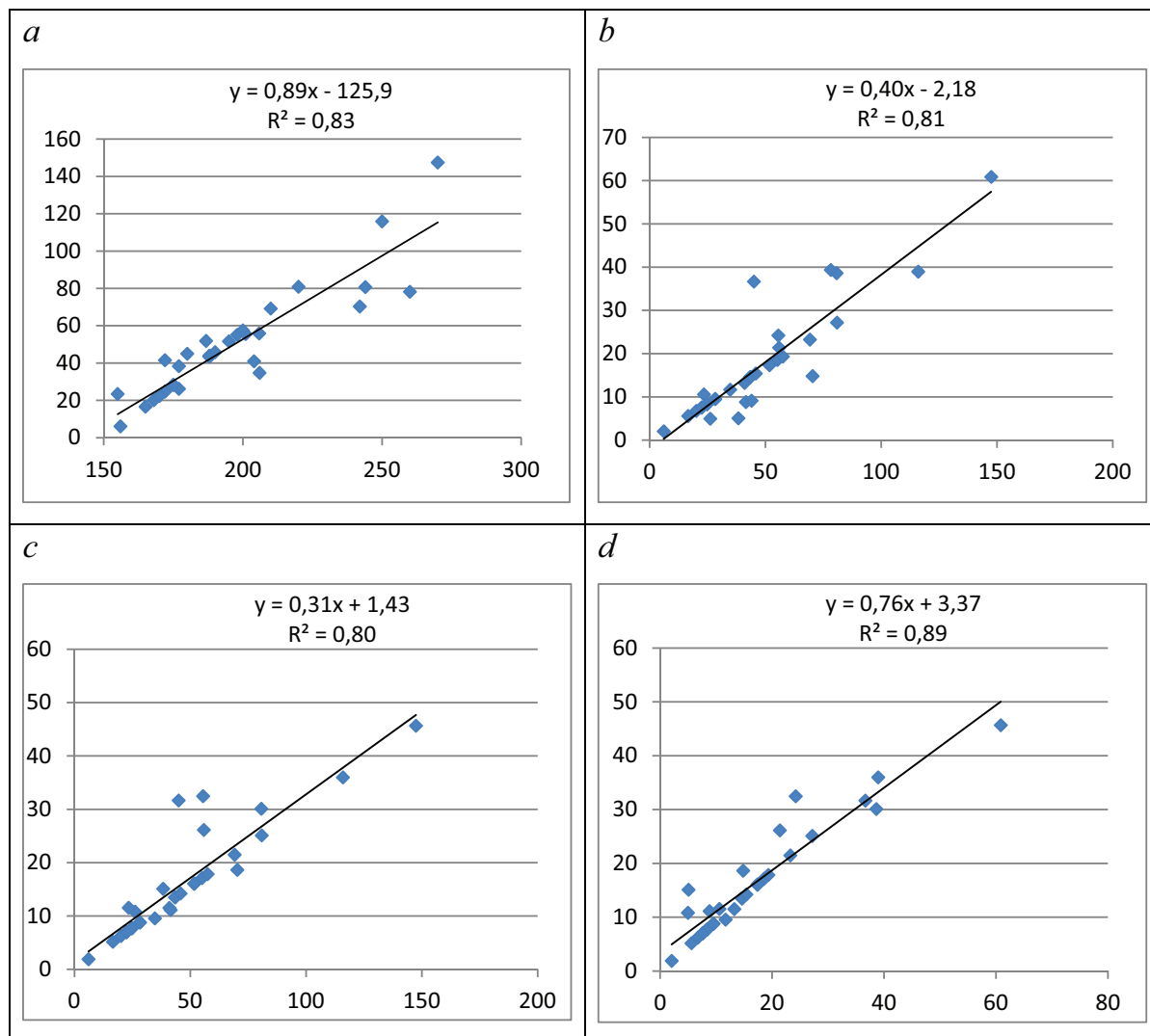


Рис. 2. Прямолінійна залежність між показниками: *a* – висотою пагонів (см) та біомасою надземної частини (г); *b* – біомасою стовбура та гілок (г); *c* – біомасою стовбура та листя (г); *d* – біомасою листя та гілок (г)

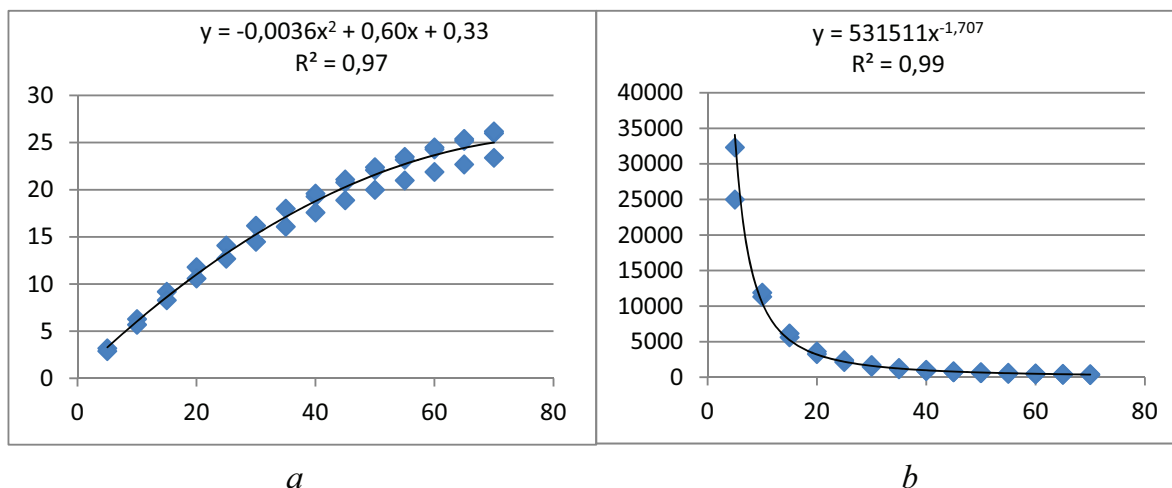


Рис. 3. Зміна висоти деревостану верби (а), кількості дерев верби на 1 га (у) (b) залежно від їхнього віку (х)

На основі таких даних ми розрахували показники запасів надземної біомаси та стовбурної деревини (рис. 4). Як видно з графіків, верба інтенсивно нарощує біомасу до 20 років, а пізніше цей показник, як і кількість дерев на площі 1 га, згладжується. Отже, 20-річний період можна вважати таким, коли в оптимальних умовах формується більш-менш стабільна заплавна лісова екосистема.

У процесі формування деревостану змінюється форма крони. Якщо оцінювати ці форми з енергетичних позицій, де запаси енергії пропорційні об'єму фігури, а площа відкритої поверхні енергообміну, то такою, що характеризує максимальний ріст, є конус, енергетичні витрати якого найнижчі (33,3 %), а градієнт росту найвищий. Саме таку форму має крона протягом перших місяців першого року розвитку, коли на 1 га може зростати 500–900 тис. пагонів. На другому році в умовах підвищеної ценотичної

конкуренції уже формуються густі зарості і форму крони можна трактувати як циліндричну (енергетичний потенціал – 64,4 %). Згодом така висока інтенсивність росту знизиться, і після третього року почне формуватися розгалужена крона, а слабші рослини випадатимуть (імаатурна стадія онтогенетичного розвитку верби). Уже на третьому році було зафіксовано появу сережок у частини рослин, але масово генеративна стадія розвитку настане через п'ять–шість років. При цьому кількість пагонів може зменшитися на порядок у віці до 10 років від 80 до 10 тис., а 20 років – до 5 тис. На основі даних моделювання такий ценоз сформується уже після 20 років [10], тобто набагато швидше, ніж це відбувається в типових неморальних лісах плакорного типу. Це підтверджують проведені нами візуальні спостереження на місці водойми-охолоджувача Чорнобильської атомної електростанції (ЧАЕС), де за вісім років дерева мали висоту 5–8 м і досягли генеративної стадії. До того ж зміниться і структура насаджень. У зрілому віці крона тополі та верби, на відміну від типових неморальних порід густих лісів, набуває кулеподібної форми типу «парасольки», яка має найменшу поверхню, але найбільший об'єм, і це співвідношення становить 0,33, що з позицій функціонування системи є найстабільнішою [11]. Кількість дерев першого ярусу може досягати лише 400–500 і навіть менше особин на 1 га. Така розлога структура деревного ярусу сприятиме тому, що формуватиметься густий намет нижчих дерев і чагарників, серед них *Frangula alnus* Mill., *Swida sanguinea* L., *Euonymus europaeus* L., *Salix cinerea*. В останні десятиліття спостерігається інтенсивне вселення адвентивних видів *Acer negundo* L. та *Amorpha*

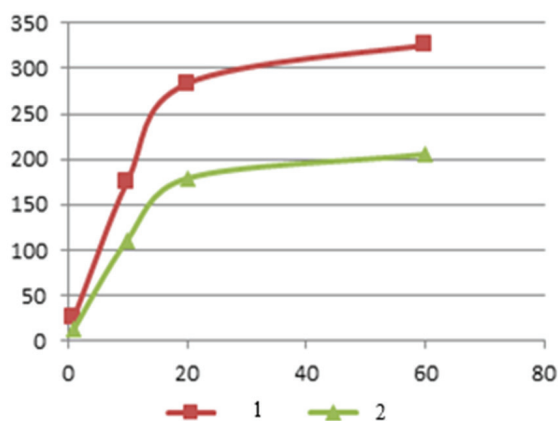


Рис. 4. Зміна запасів надземної біомаси (1) і стовбурної деревини (2) верби (у) в процесі розвитку лісів до зрілого віку (х)

fruticosa L., які трактуються як трансформери і впливають на формування нижніх ярусів. Характерною особливістю типових заплавлених лісів є потужний розвиток трав'яних рослин з ліаноподібними стеблами, що обплітають стовбури дерев і крони чагарників, тому ці ліси називають галерейними. Це такі види, як *Humulus lupulus* L. та *Calystegia sepium* (L.) R.Br., а в останні роки, особливо в західних регіонах, спостерігається інтенсивний розвиток адвентивного *Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. & A.Gray. Типовий трав'яний покрив доволі різноманітний і залежить від обводненості субстрату. Домінуючими рослинами можуть бути *Carex acutiformis* Ehrh., *Iris pseudacorus* L., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., *Urtica galeopsifolia* Wierzb. ex Opiz. Такі високорослі потужні зарості трав'яного ярусу, густий намет ліаноподібних трав, чагарниково-деревного ярусу потребують достатнього забезпечення вологою та поживними речовинами. За даними [9], лише 1 г листя верби транспірує в повітря 0,8–2,6 г води і фотосинтезує 21,7–59,2 мг/дм²•год, тобто має велике кліматотропне значення.

Такі угруповання належать до класу *Salicetea purpureae* Moor 1958, all. *Salicion albae* Soò 1951 [12] асоціації *Salicetum albae* Issler 1926, *Myosotido palustris-Salicetum albae* Shevchyk et Solomakha 1996 *Salici-Populetum* (Tx.1931) Meijer-Drees 1936 [13].

У більш вологих прируслових умовах формуються угруповання більш низькорослих верб, а в сухіших, на пісках, де нині інтенсивно поновлюється *Populus nigra*, можливою стійкою стадією будуть угруповання *Populeto nigrum-albae* Slavnić 1952. Важко спрогнозувати, як відбуватимуться сукцесії на сухих піщаних і черепашкових субстратах, де нині маємо куртини трав'яних рослин із плагіотропними пагонами і з'являються сходи дерев та чагарників *Amorpha fruticosa*, *Fraxinus pennsylvanica* Marshall, *Gleditsia triacanthos* L.,

але цілком імовірним є формування чагарниково-деревних слабкозімкнутих ценозів *Salici acutifoliae-Amorphetum fruticosae* Senchylo et al. 1999 та *Artemisio dniproicae-Salicion acutifoliae* Shevchyk et Solomakha 1996, які наводять для лісостепової зони, а в степовій не зафіксовані. Через кліматичні зміни, підвищення середньорічних температур тут можливе формування цілком нових синтаксонів, зокрема з участю *Elaeagnus angustifolia* L., який проявляє інтенсивну експансію в степовій зоні, захоплюючи нові екотопи [14].

Наступний етап досліджень полягав у розрахунку енергетичних показників різних компонентів екосистеми, їхньої динаміки (приросту, відпаду), трансформації енергії по трофічних ланцюгах, дихання, фотосинтезу, тобто оцінюванні функціональних (підтримувальних і регулювальних) екологічних послуг за розробленою нами методикою [7]. Такі розрахунки було проведено з урахуванням даних дистанційного картографування, створених на основі індексів NDVI у серпні і листопаді 2023 р. [14]. Площа днища водосховища, яка заросла вербою і тополею на відкритих мулистих субстратах, де ці дерева потенційно можуть швидко з'явитися в наступні роки, становила близько 30 % від площі водосховища. Отримані енергетичні показники було переведено в монетарні одиниці з урахуванням того, що у 2024 р. вартість 1 ГДж становила 3,3 у. о. (див. таблицю).

Як видно з наведених даних, стабілізація заплавлених лісових екосистем настає через 20 років. Вартість підтримувальних і регулювальних екосистемних послуг у 16 разів вища вже на початкових стадіях його заростання від функціонуючого водосховища. Однак тут не враховано вартість ресурсних і соціально-інформаційних послуг, які належать до сфери економічних та інших категорій, тобто є поза межами наших екологічних досліджень.

Таблиця

Оцінювання енергетичних показників (10⁶ ГДж) / вартості (млн дол. США) та співвідношення (%) підтримувальних і функціональних екологічних послуг тополево-вербових угруповань днища Каховського водосховища

Вік дерев	Біомаса	Транспірація, фотосинтез, дихання	Відпад	Живлення консументів, редуцентів	Разом
1	<u>21,9/72,27</u> 69,75	<u>3,7/12,21</u> 11,78	<u>3,6/11,88</u> 11,46	<u>2,15/7,1</u> 6,85	<u>31,4/103,62</u> 100
10	<u>209,4/691,02</u> 83,53	<u>8,3/27,39</u> 3,31	<u>12,6/41,58</u> 5,03	<u>20,4/67,32</u> 8,13	<u>250,7/825,0</u> 100
20	<u>337,9/1115,07</u> 83,33	<u>13,5/44,55</u> 3,82	<u>20,3/66,99</u> 5,01	<u>33,8/111,54</u> 8,34	<u>405,5/1338,15</u> 100
50	<u>384,6/1269,18</u> 83,30	<u>15,5/51,15</u> 3,36	<u>23,1/76,23</u> 5,00	<u>38,5/127,05</u> 8,34	<u>461,7/1523,61</u> 100

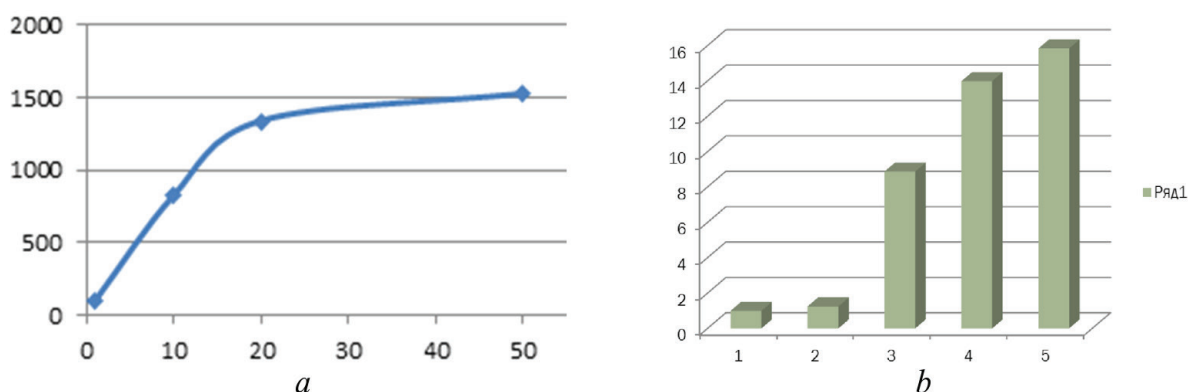


Рис. 5. Вартість (дол. США) підтримувальних і регулювальних екосистемних послуг у процесі формування природних екосистем на днищі Каховського водосховища залежно від віку деревостану тополево-вербових лісів (a) та їхнє співвідношення в процесі формування нативних лісових екосистем заплавного типу (b): 1 – Каховське водосховище; 2 – піонерний етап розвитку (1-річний сезон); 3 – біотопи 10-річного віку; 4 – біотопи 20-річного віку; 5 – сформовані 50-річні біотопи

Наведені угруповання належать до біотопу Д1.6.1 Заплавні вербові і тополеві ліси, внесеного до резолюції № 4 Бернської конвенції як G1.11 Riverine Salix woodland (Прирічкові вербові ліси) [16]. Специфіка цих угруповань полягає в тому, що верба та тополя щорічно продукують велику кількість легкого насіння та мають ефективну систему його розповсюдження анемо-, гідрохорним способом на далекі відстані, що забезпечує заселення і за відсутності періоду спокою швидке проростання на відкритих, добре освітлених місцях за умови, що немає ценотичної конкуренції [17]. Ці дерева колонізують нещодавно трансформовані оселища на ранніх стадіях сукцесії аж до утворення відносно стабільних сукцесійних стадій [18,19]. Вони заселяють доволі різноманітні стації – як гіпоксичні торф'яні болота з бідними оліготрофними умовами з обмеженим вмістом поживних речовин, так і евтрофні алювіальні мулисті відклади, багаті на поживні речовини; витримують різке коливання зволоження протягом вегетаційного сезону від надмірного до дефіциту; регулюють функціонування процесів високодинамічних екосистем у заплавах, характерними рисами яких є висока сезонна флуктуативність, турбулентність і навіть катастрофічні процеси, тому їх трактують як ділянки збурення парагенетичної конфігурації ландшафту [20]. Вони формують симбіотичні асоціації з мікоризними грибами, які забезпечують додаткове постачання поживними речовинами для росту рослин (везикулярно-арбускулярна ендомікориза – фосфором, а ектомікориза – органічним азотом [21-23]). Завдяки симбіозу з мікроорганізмами рослини здатні розкласти нафтопродукти й очищувати

грунт [24,25]. Вони накопичують азотні, фосфорні сполуки, важкі, токсичні метали, особливо кадмій (Cd), тому їх використовують для фіторе mediaції територій [26-34]. Цей біотоп має високе природоохоронне значення. Ці галерейні ліси мають багату фауну комах (до 450 видів) [35], високу щільність розмноження і зупинки видів птахів, є оселищем багатьох раритетних видів тварин та рослин (у заростях тополі на місці водосховища біля острова Хортиця ми виявили вид рослин з Червоної книги України *Carex secalina* Willd. ex Wahlenb.) і мають високу рекреаційну цінність [18].

Проте в офіційних джерелах щодо структури лісів України важко знайти показники для вербових лісів, бо вони становлять лише близько 0,1 % (вербово-тополеві – 1 %). Саме тому, як на національному, так і на міжнародному рівні, актуальним є збереження й відновлення природних тополево-вербових ценозів заплавних екосистем Великого Лугу [14,36].

Висновки

Для ухвалення виваженого рішення щодо доцільності відбудови Каховської ГЕС потрібно здійснити оцінювання екосистемних послуг. Проведені нами польові дослідження та розрахунки показали, що на днищі колишнього Каховського водосховища надзвичайно швидкими темпами і у великих масштабах відбувається формування заплавних галерейних тополево-вербових лісів, які у віці 20 років досягають стабільного рівня і мають високу природоохоронну, екологічну, господарську та рекреаційну цінність. Проведені розрахунки лише підтримувальних і регулювальних екосистемних послуг, які відображають

екологічну складову функціонування, значущості заплавлених лісових екосистем, показали, що їхня вартість у зрілому віці становить 1523 млн дол. США. Але якщо затоплення водосховища відбудеться через 10 років після руйнації, то природі слід «відшкодувати» 825 млн дол. США тільки за рахунок втрати затоплених лісів, а через 20 років ця цифра становитиме 1,338 млрд дол. США. Але хто за це платитиме? До того ж економісти

повинні оцінити вартість збитків ресурсних екосистемних послуг, а інші фахівці – соціально-інформаційного їх значення.

З огляду на зазначене вище постає питання економічної доцільності, моральності та законності можливого знищення найбільшого за площею в Україні заплавного лісового біотопу у разі відбудови Каховського водосховища в майбутньому.

Список літератури

1. Про затвердження Порядку визначення шкоди та збитків, завданих Україні внаслідок збройної агресії Російської Федерації, Постанова Кабінету Міністрів України № 326 [Інтернет], 20 бер. 2022. Доступно на: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/326-2022-%D0%BF#Text>
2. Odum E.P. Fundamentals of Ecology. Third Edition. Philadelphia: W.B. Saunders Co.; 1971. 574 p.
3. Дідух Я, Лисенко Г. Проблеми термодинамічного оцінювання структури та організації екосистем. Вісник НАН України. 2010;5:16-27.
4. Pérez-Harguindeguy N, Díaz S, Garnier E, Lavorel S, Poorter H, Jaureguiberry P, Bret-Harte MS, Cornwell WK, Craine JM, Gurvich DE, Urcelay C, Veneklaas EJ, Reich PB, Poorter L, Wright IJ, Ray P, Enrico L, Pausas JG, de Vos AC, Buchmann N, Funes G, Quétier F, Hodgson JG, Thompson K, Morgan HD, ter Steege H, Sack L, Blonder B, Poschlod P, Vaieretti MV, Conti G, Staver AC, Aquino S, Cornelissen JHC. Corrigendum to: New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. Australian Journal of Botany. 2016;64(8):715-6. doi:10.1071/BT12225_CO
5. Dušek J, Květ J. Seasonal dynamics of dry weight, growth rate and root/shoot ratio in different aged seedlings of *Salix caprea*. Biologia. Bratislava. 2006;61(4):441-7. doi:10.2478/s11756-006-0074-0
6. Дідух ЯП, Куземко АА, Ходосовцев ОЄ, Чусова ОО, Борукевич ЛМ, Скобель НО, Михайлюк ТІ, Мойсієнко ІІ. Перший рік відновлення заплавлених лісів на дні колишнього Каховського водосховища. Чорноморський ботанічний журнал. 2024;20(3):305-26. doi:10.32999/ksu1990-553X/2024-20-3-5
7. Дідух ЯП, Соколенко УМ, Расевич ВВ, Гаврилов СО. Методика розрахунку екологічних збитків природних екосистем та їхніх компонентів. Львів – Київ: Манускрипт; 2024. 67 с.
8. Лакида ПІ. Фітомаса лісів України. Тернопіль: Збруч; 2002. 256 с.
9. Сінченко ВМ, редактор. Енергетична верба: технологія вирощування та використання. Вінниця: ТВОРИ; 2023. 346 с.
10. Усольцев ВА. Фитомасса лесов Северной Евразии. Нормативы и элементы географии. Екатеринбург: УрО РАН; 2002. 763 с.
11. Дідух ЯП. Якими будуть наші ліси? Український ботанічний журнал. 2010;67(3):321-43.
12. Mucina L, Bültmann H., Dierßen K, Theurillat J-P, Raus T, Čarni A, Šumberová K, Willner W, Dengler J, Gavilán García R, Chytrý M, Hájek M, Di Pietro R, Iakushenko D, Pallas J, Daniëls FJA, Bergmeier E, Santos Guerra A, Ermakov N, Valachovič M, Schaminée JHJ, Lysenko T, Didukh YP, Pignatti S, Rodwell JS, Capelo J, Weber HE, Solomeshch A, Dimopoulos P, Aguiar C, Hennekens SM, Tichý L. Vegetation of Europe: hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities. Applied Vegetation Science. 2016;19(1):3-264. doi:10.1111/avsc.12257
13. Фицайло ТВ, Дубина ДВ, Дзюба ТП. Клас SALICETEA PURPUREAE MOOR 1958. У: Дубина ДВ, Дзюба ТП, Ємельянова СМ та ін. Продромус рослинності України. Київ: Наукова думка; 2019. с. 386.
14. Kuzemko A, Prylutskyi O, Kolomytsev G, Didukh Ya, Moysiienko I, Borsukevych L, Chusova O, Splodytel A, Khodosovtsev O. Reach the bottom: plant cover of the former Kakhovka Reservoir, Ukraine. Research Square. 2024. doi:10.21203/rs.3.rs-4137799/v1
15. Sudnik-Wójcikowska B, Moysiienko I, Slim P, Moraczewski I. Impact of the invasive species *Elaeagnus angustifolia* on Pontic desert steppe zone vegetation in southern Ukraine. Polish Journal of Ecology. 2009;57(2):269-81.
16. Куземко А, Дідух Я, Онищенко В, Шеффер Я, редактори. Національний каталог біотопів України. Київ: ФОП Клименко ЮЯ; 2018. 442 с.
17. Dorn RD. A synopsis of American *Salix*. Canadian Journal of Botany. 1976;54:2769-89.
18. Skvortsov AK. Willows of Russia and adjacent countries. Taxonomic and Geographic Revision. Joensuu: Joensuu University Press; 1999. 307 p.
19. Kowalik PJ, Randerson PF. Nitrogen and Phosphorus Removal by Willow Stands Irrigated with Municipal Waste Water – A Review of the Polish Experience. Biomass and Bioenergy. 1994;6:133-9. doi:10.1016/0961-9534(94)90092-2
20. Didukh YaP, Chusova OO, Olshevska IA, Polischuk YuV. River valleys as the object of ecological and geobotanical research. Ukrainian Botanical Journal. 2015;72(5):415-30. doi:http://dx.doi.org/10.15407/ukrbotj72.05.415
21. Schramm JR. Plant colonization studies on black wastes from anthracite mining in Pennsylvania. Trans. Am. Phil. Soc. 1966;56(1):1-189.
22. Lodge DJ. The influence of soil moisture and flooding on formation of VA-endo-and ectomycorrhizae in *Populus* and *Salix*. Plant and Soil. 1989;117:243-53.
23. Heijden EW, Kuyper TW. Ecological strategies of ectomycorrhizal fungi of *Salix repens*: root manipulation versus root replacement. Oikos. 2003;103(3):668-80.
24. Thompson W. Botanical Remedies. Landscape Architect. 1998;8:38-43.
25. Vervaeke P, Luyssaert S, Mertens J, Meers E, Tack FM, Lust N. Phytoremediation prospects of willow stands on contaminated sediment: a field trial. Environmental pollution. 2003;126(2):275-82.
26. Robinson BH, Mills TM, Petit D, Fung LE, Green SR, Clothier BE. Natural and induced cadmium-accumulation in poplar and willow: implications for phytoremediation. Plant Soil. 2000;227:301-306. doi:10.1023/A:1026515007319
27. Klang-Westin E, Perttu K. Effect of nutrient supply and soil cadmium concentration on cadmium removal by willow. Biomass and Bioenergy. 2002;23:415-26. doi:10.1016/S0961-9534(02)00068-5
28. Aronsson P, Perttu K. Willow vegetation filters for wastewater treatment and soil remediation combined with biomass production. The Forestry Chronicle. 2001;77(2):293-9. doi:10.5558/tfc77293-2
29. Klang-Westin E, Eriksson J. Potential of *Salix* as phytoextractor for Cd on moderately contaminated soils. Plant and soil. 2003;249:127-37.

30. Watson C, Pulford I, Riddell-Black D. Development of a hydroponic screening technique to assess heavy metal resistance in willow (*Salix*). International Journal of Phytoremediation. 2003;5(4):333-49. doi:10.1080/15226510309359041
 31. Ali MB, Vajpayee P, Tripathi RD, Rai UN, Singh SN., Singh SP. Phytoremediation of Lead, Nickel, and Copper by *Salix acmophylla* Boiss.: Role of antioxidant enzymes and antioxidant substances. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 2003;70:462-9. doi:10.1007/s00128-003-0009-1
 32. Keller C, Hammer D, Kayser A, Richner W, Brodbeck M, Sennhauser M. Root development and heavy metal phytoextraction efficiency: Comparison of different plant species in the field. Plant Soil. 2003;249:67-81. doi:10.1023/A:1022590609042
 33. Kuzovkina YA, Knee M, Quigley MF. Cadmium and copper uptake and translocation of five *Salix* L. species. International Journal of Phytoremediation. 2004;6(3):269-87. doi:10.1080/15226510490496726
 34. Mohsin M, Kaipainen E, Salam MMA, Evstishenkov N, Nawrot N, Villa A, Wojciechowska E, Kuittinen S, Pappinen A. Biomass Production and Removal of Nitrogen and Phosphorus from Processed Municipal Wastewater by *Salix schwerinii*: A Field Trial. Water. 2021;13(16):22-98. doi:10.3390/w13162298
 35. Kennedy CEJ, Southwood TRE. The number of species of insects associated with British trees: a re-analysis. The Journal of Animal Ecology. 1984;53(2):455-78.
 36. Vries MG. Conservation of natural ecosystems of poplar and willow. The Forestry Chronicle. 2001;77(2):255-7. doi:10.5558/tfc77255-2
- ### References
1. On Approval of the Procedure for Determining Damage and Losses Caused to Ukraine as a Result of the Armed Aggression of the Russian Federation, Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 326 [Internet], 2022 March 20. Available from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/326-2022-%D0%BF#Text>. Ukrainian.
 2. Odum EP. Fundamentals of Ecology. Third Edition. Philadelphia: W.B. Saunders Co.; 1971. 574 p.
 3. Didukh Ya, Lysenko H. Problems of thermodynamic assessment of the structure and organization of ecosystems. Bulletin of the NAS of Ukraine. 2010;5:16-27. Ukrainian.
 4. Pérez-Harguindeguy N, Díaz S, Garnier E, Lavorel S, Poorter H, Jaureguiberry P, Bret-Harte MS, Cornwell WK, Craine JM, Gurvich DE, Urcelay C, Veneklaas EJ, Reich PB, Poorter L, Wright IJ, Ray P, Enrico L, Pausas JG, de Vos AC, Buchmann N, Funes G, Quétier F, Hodgson JG, Thompson K, Morgan HD, ter Steege H, Sack L, Blonder B, Poschlod P, Vaieretti MV, Conti G, Staver AC, Aquino S, Cornelissen JHC. Corrigendum to: New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. Australian Journal of Botany. 2016;64(8):715-6. doi:10.1071/BT12225_CO
 5. Dušek J, Květ J. Seasonal dynamics of dry weight, growth rate and root/shoot ratio in different aged seedlings of *Salix caprea*. Biologia. Bratislava. 2006;61(4):441-7. doi:10.2478/s11756-006-0074-0
 6. Didukh YaP, Kuzemko AA, Khodosovtsev OYe, Chusova OO, Borsukevych LM, Skobel NO, Mikhailyuk TI, Moysiienko II. First year of floodplain forest restoration at the bottom of the former Kakhovka reservoir. Chornomorski Botanical Journal. 2024;20(3):305-326. doi:10.32999/ksu1990-553X/2024-20-3-5. Ukrainian.
 7. Didukh YaP, Sokolenko UM, Rasevich VV, Gavrilovvv SO. Methodology for calculating ecological damage to natural ecosystems and their components. Lviv – Kyiv: Manuscript, 2024; 67 p. Ukrainian.
 8. Lakyda PI. Phytomass of Ukrainian forests. Ternopil: Zbruch; 2002. 256 p. Ukrainian.
 9. Sinchenko VM, editor. Energy willow: technology of cultivation and use. Vinnytsa: Tvory; 2023. 346 p. Ukrainian.
 10. Usoltsev VA. Phytomass of forests of Northern Eurasia. Standards and elements of geography. Yekaterinburg: UrO RAS; 2002. 763 p. Russian.
 11. Didukh YaP. What is the future of our forests? Ukrainian Botanical Journal. 2010;67(3):321-43. Ukrainian.
 12. Mucina L, Bültmann H., Dierßen K, Theurillat J-P, Raus T, Čarni A, Šumberová K, Willner W, Dengler J, Gavilán García R, Chytrý M, Hájek M, Di Pietro R, Iakushenko D, Pallas J, Daniëls FJA, Bergmeier E, Santos Guerra A, Ermakov N, Valachovič M, Schaminée JHJ, Lysenko T, Didukh YP, Pignatti S, Rodwell JS, Capelo J, Weber HE, Solomeshch A, Dimopoulos P, Aguiar C, Hennekens SM, Tichý L. Vegetation of Europe: hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities. Applied Vegetation Science. 2016;19(1):3-264. doi:10.1111/avsc.12257
 13. Fitsailo TV, Dziuba TP, Dubyna DV. Class *Salicetea purpureae* Moor 1958. In: Prodrome of the vegetation of Ukraine. Kyiv: Naukova dymka; 2019. p. 386-93. Ukrainian.
 14. Kuzemko A, Prylutskyi O, Kolomytsev G, Didukh Ya, Moysiienko I, Borsukevych L, Chusova O, Splodytel A, Khodosovtsev O. Reach the bottom: plant cover of the former Kakhovka Reservoir, Ukraine. Research Square. 2024. doi:10.21203/rs.3.rs-4137799/v1
 15. Sudnik-Wójcikowska B, Moysiienko I, Slim P, Moraczewski I. Impact of the invasive species *Elaeagnus angustifolia* on Pontic desert steppe zone vegetation in southern Ukraine. Polish Journal of Ecology. 2009;57(2):269-81.
 16. Kuzemko A, Didukh Ya, Onyshchenko V, Sheffer Ya, editors. National Catalogue of Biotopes of Ukraine. Kyiv: FOP Klymenko YuYa; 2018. 442 p. Ukrainian.
 17. Dorn RD. A synopsis of American *Salix*. Canadian Journal of Botany. 1976;54:2769-89.
 18. Skvortsov AK. Willows of Russia and adjacent countries. Taxonomic and Geographic Revision. Joensuu: Joensuu University Press; 1999. 307 p.
 19. Kowalik PJ, Randerson PF. Nitrogen and Phosphorus Removal by Willow Stands Irrigated with Municipal Waste Water – A Review of the Polish Experience. Biomass and Bioenergy. 1994;6:133-9. doi:10.1016/0961-9534(94)90092-2
 20. Didukh YaP, Chusova OO, Olshevska IA, Polischuk YuV. River valleys as the object of ecological and geobotanical research. Ukrainian Botanical Journal. 2015;72(5):415-30. doi:http://dx.doi.org/10.15407/ukrbotj72.05.415
 21. Schramm JR. Plant colonization studies on black wastes from anthracite mining in Pennsylvania. Trans. Am. Phil. Soc. 1966;56(1):1-189.
 22. Lodge DJ. The influence of soil moisture and flooding on formation of VA-endo-and ectomycorrhizae in *Populus* and *Salix*. Plant and Soil. 1989;117:243-53.
 23. Heijden EW, Kuyper TW. Ecological strategies of ectomycorrhizal fungi of *Salix repens*: root manipulation versus root replacement. Oikos. 2003;103(3):668-80.
 24. Thompson W. Botanical Remedies. Landscape Architect. 1998;8:38-43.
 25. Vervaeke P, Luyssaert S, Mertens J, Meers E, Tack FM, Lust N. Phytoremediation prospects of willow stands on contaminated sediment: a field trial. Environmental pollution. 2003;126(2):275-82.
 26. Robinson BH, Mills TM, Petit D, Fung LE, Green SR, Clothier BE. Natural and induced cadmium-accumulation in poplar and willow: implications for phytoremediation. Plant Soil. 2000; 227:301-306. doi:10.1023/A:1026515007319
 27. Klang-Westin E, Perttu K. Effect of nutrient supply and soil cadmium concentration on cadmium removal by willow. Biomass and Bioenergy. 2002;23:415-26. doi:10.1016/S0961-9534(02)00068-5

28. Aronsson P, Perttu K. Willow vegetation filters for wastewater treatment and soil remediation combined with biomass production. *The Forestry Chronicle*. 2001;77(2):293-9. doi:10.5558/tfc77293-2
29. Klang-Westin E, Eriksson J. Potential of *Salix* as phytoextractor for Cd on moderately contaminated soils. *Plant and soil*. 2003;249:127-37.
30. Watson C, Pulford I, Riddell-Black D. Development of a hydroponic screening technique to assess heavy metal resistance in willow (*Salix*). *International Journal of Phytoremediation*. 2003;5(4):333-49. doi:10.1080/15226510309359041
31. Ali MB, Vajpayee P, Tripathi RD, Rai UN, Singh SN., Singh SP. Phytoremediation of Lead, Nickel, and Copper by *Salix acmophylla* Boiss.: Role of antioxidant enzymes and antioxidant substances. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2003;70:462-9. doi:10.1007/s00128-003-0009-1
32. Keller C, Hammer D, Kayser A, Richner W, Brodbeck M, Sennhauser M. Root development and heavy metal phytoextraction efficiency: Comparison of different plant species in the field. *Plant Soil*. 2003;249:67-81. doi:10.1023/A:1022590609042
33. Kuzovkina YA, Knee M, Quigley MF. Cadmium and copper uptake and translocation of five *Salix* L. species. *International Journal of Phytoremediation*. 2004;6(3):269-87. doi:10.1080/16226510490496726
34. Mohsin M, Kaipainen E, Salam MMA, Evstishenkov N, Nawrot N, Villa A, Wojciechowska E, Kuittinen S, Pappinen A. Biomass Production and Removal of Nitrogen and Phosphorus from Processed Municipal Wastewater by *Salix schwerinii*: A Field Trial. *Water*. 2021;13(16):22-98. doi:10.3390/w13162298
35. Kennedy CEJ, Southwood TRE. The number of species of insects associated with British trees: a re-analysis. *The Journal of Animal Ecology*. 1984;53(2):455-78.
36. Vries MG. Conservation of natural ecosystems of poplar and willow. *The Forestry Chronicle*. 2001;77(2):255-7. doi:10.5558/tfc77255-2

**Ya. Didukh¹, I. Moysiienko^{1,2}, O. Kravchenko³, M. Mulenko⁴,
K. Polyanska³, O. Chusova¹, P. Hetman¹**

¹ M. G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

² Kherson State University, Kherson, Ukraine

³ International Charitable Organization "Ecology-Law-Human", Kyiv, Ukraine

⁴ Khortytsia National Reserve, Zaporizhzhia, Ukraine

INITIAL STAGES OF FORMATION OF FLOODPLAIN FORESTS OF THE BOTTOM OF THE KAKHOVKA RESERVOIR AND FORECAST OF THEIR DEVELOPMENT

Abstract

After the destruction of the Kakhovka Reservoir Dam on June 6, 2023, four trips were made (June 30 and October 19, 2023, April 25 and October 20, 2024), during which the initial stages of floodplain willow-poplar forests were studied. These forests occupied about 30% of the drained reservoir bottom. Investigations of the drained bottom of the Kakhovka Reservoir in 2024 showed rapid growth of *Salix × rubens*, and in 2024, *Populus alba* and *P. nigra*. It was established that the average number of willow shoots after three weeks was about 90 pcs/m²; at the end of the 2023 season it was 23 pcs/m², in 2024 – 10.3 pcs/m², and the average height increased from 190 to 350 cm. The phytomass ratio of trunks, branches, leaves and roots in the first year of development was 0.45:0.16:0.18:0.2. The calculated indicators of the increase in phytomass of trees after 10, 20, and 50 years show, that their energy reserves of biomass, costs for transpiration, photosynthesis, respiration, support of trophic chains, and waste, which characterize functional (supporting and regulating) ecosystem services, are, in monetary equivalent, 825, 1338, and 1523 c.u., respectively, with a forest area of 30% of the reservoir bottom. Based on the calculations, it was established that the natural state of floodplain forest ecosystems will form after 20 years. The ecological role of floodplain poplar-willow biotopes, which are included in Resolution No. 4 of the Bern Convention as G1.11 Riverine *Salix* woodland and are represented by the groups of the cl. *Salicetea purpureae* Moor 1958, all. *Salicion albae* Soò 1951 (Mucina et al. 2016) as. *Salicetum albae* Issler 1926, *Myosotido palustris-Salicetum albae* Shevchyk et Solomakha 1996, *Salici-Populetum* (Tx.1931) Meijer-Drees 1936, is highlighted. Floodplain forests of the gallery type have high water-regulating, soil-forming, and remedial value. They provide habitats for numerous avifaunal and entomofaunal species, which are protected at the European level. Floodplain forests in Ukraine occupy only 0.1% of the total forest area. The expediency of restoring the Kakhovka Reservoir is questioned, calling for a balanced decision that considers the economic importance alongside the ecological, historical, and cultural value of the territory.

Keywords: Kakhovka Reservoir, poplar-willow biotopes, floodplain ecosystems, ecosystem services.

ARTICLE HISTORY. Submitted 15 May 2025. Accepted 30 June 2025. Published 18 August 2025

Відомості про авторів
Authors Information

Дідух Яків Петрович – академік НАН України, доктор біологічних наук, завідувач відділу геоботаніки та екології Інституту ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України, Київ, Україна

Didukh Yakiv – Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Biological Sciences, Head of the Department of Geobotany and Ecology of the M. G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-3611-3993>

ya.didukh@gmail.com

Мойсієнко Іван Іванович – доктор біологічних наук, завідувач кафедри ботаніки Херсонського державного університету, Херсон, Україна; Інститут ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України, Київ, Україна

Moysiienko Ivan – Doctor Science in Biology, Head of the Department of Botany of Kherson State University, Kherson, Ukraine; M. G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-0689-6392>

ivan.moysiienko@gmail.com

Кравченко Олена Валеріївна – кандидат наук з міжнародних відносин, директор Міжнародної благодійної організації «Екологія-Право-Людина» (МБО ЕПЛ), Київ, Україна

Kravchenko Olena – PhD in International Relations, Director of the International Charitable Organization “Ecology-Law-Human”, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-5794-4684>

okravchenko@epl.org.ua

Муленко Михайло Андрійович – завідувач сектору охорони природи Національного заповідника «Хортиця», Запоріжжя, Україна

Mulenko Mykhailo – Head of the Nature Conservation Sector of the Khortytsia National Reserve, Zaporizhzhia, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-0054-6914>

mulekomihail@gmail.com

Полянська Катерина Валентинівна – кандидат географічних наук, еколог першої категорії Міжнародної благодійної організації «Екологія-Право-Людина» (МБО ЕПЛ), Київ, Україна

Polyanska Kateryna – Candidate of Geographical Sciences, Ecologist of the 1st Category of the International Charitable Organization “Ecology-Law-Human”, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0009-0008-3976-1700>

k.polyanska@epl.org.ua

Чусова Ольга Олександрівна – кандидат біологічних наук, науковий співробітник відділу геоботаніки та екології Інституту ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України, Київ, Україна

Chusova Olga – Candidate of Biological Sciences, Researcher at the Department of Geobotany and Ecology of the M. G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-8081-9918>

olgachusova28@gmail.com

Гетьман Поліна Андріївна – провідний інженер відділу геоботаніки та екології Інституту ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України, Київ, Україна

Hetman Polina – Senior Engineer of Department of Geobotany and Ecology of the M. G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-2391-5863>

poli-getman@ukr.net



DOI: 10.18523/2617-4529.2025.8.81-89

УДК 581.9/582.623

Мельник В. І.

Національний ботанічний сад імені М. М. Гришка НАН України, Київ, Україна

ЗАКОНОМІРНОСТІ ГЕОГРАФІЧНОГО ПОШИРЕННЯ СКЕЛЬНОДУБОВИХ ЛІСІВ НА ПОЛІССІ

Встановлення закономірностей географічного поширення та сучасного стану лісових фітоценозів є актуальним завданням екологічних досліджень. До таких угруповань належать скельнодубові ліси Полісся. Їхній едифікатор – дуб скельний (*Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl.) є стенотопним видом Полісся, який приурочений до специфічних екотонів з теплими мікрокліматичними умовами на схилах південної експозиції та до дерново-підзолистих ґрунтів, сформованих на елювії твердих гірських порід (рожевих пісковиків, оолітових вапняків та морени з валунами граніту). На відміну від зональних дубових лісів Полісся, сформованих дубом звичайним (*Quercus robur* L.), приурочених до плакорів, острівні скельнодубові ліси регіону є екстразональними рослинними угрупованнями. Охорона скельнодубових лісів Полісся є задовільною і потребує лише деякого поліпшення. Зважаючи на цінність генофонду *Q. petraea* на східній межі ареалу в Європі, потрібно розширювати площі його лісових культур.

Ключові слова: *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl., ареал, ліс, місцезростання, популяція, охорона, угруповання.

Розроблення наукових основ охорони флористичного різноманіття є актуальним завданням наукових досліджень. Особливої уваги потребують рідкісні та зникаючі фітоценози, едифікаторами яких є раритетні види. До таких рослинних угруповань в Україні належать скельнодубові ліси, внесені до Зеленої книги України. Найбільш рідкісними серед них є скельнодубові угруповання Полісся, сучасний стан яких у літературі не висвітлено.

Ареал дуба скельного (*Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl.) охоплює переважно Європу від півдня Скандинавського півострова до Піреней та Кантабрійських гір, півдня Апеннінського півострова і Балканського півострова з півночі на південь, від Британських островів до Поліської низовини і Подільської височини із заходу на схід, а також південне Чорноморське побережжя в Малій Азії та Кавказ. Окремі ексклави ареалу *Q. petraea* приурочені до гірських регіонів Криму, Анатолії та Ельбурсу [1].

У межах України *Quercus petraea* поширений переважно в гірських регіонах. У Криму він утворює

висотний пояс у межах висот – 500–800 м н. р. м. на північному і 600–800 м н. р. м. на південному макросхилах гір [2]. У Карпатах *Quercus petraea* формує суцільну висотну смугу в Закарпатті, диз'юнктивну смугу в Буковині і трапляється у вигляді острівних осередків у Передкарпатті [3].

На Східноєвропейській рівнині острівні скельнодубові ліси зростають поблизу східної межі ареалу, переважно на Подільській височині і значно рідше на Поліській низовині [4-7].

Рівнинні скельнодубові ліси України вивчені недостатньо. Дискусійним і важливим у теоретичному аспекті є питання про час їх формування.

Рівнинні скельнодубові ліси України становлять також значний інтерес у фітосоціологічному аспекті як унікальні осередки флористичного різноманіття, внесені до Зеленої книги України.

Мета досліджень: встановлення еколого-ценотичних закономірностей географічного поширення та сучасного стану флористичного різноманіття найбільш північних в Україні скельнодубових лісів Полісся.

Таблиця

Обстежені скельнодубові ліси Полісся

№ з/п	Назва об'єкта	Місцезнаходження	Площа, га	Угруповання	Середні параметри деревостанів			
					вік, років	висота, м	діаметр, см	зімкненість крон
Волинська обл.								
1	Ботанічна пам'ятка природи місцевого значення «Дуби скельні – 1»	Ковельський р-н Старовижівська громада Любохинівське л-во кв. 61 в. 7	2,1	<i>Querceta (petraea) maianthemosa</i>	130	28	40	0,8
2	Ботанічна пам'ятка природи місцевого значення «Дуби скельні – 2»	Любохинівське л-во кв. 57 в. 24	0,4	<i>Querceta (petraea) maianthemosa</i>	130	28	40	0,8
Рівненська обл.								
3	Лісові генетичні резервати дуба скельного	Рівненський р-н Мізоцька громада Мостівське л-во кв. 59 в. 20, кв. 60 в. 3, кв. 71 в. 1, 2, 3, 6, кв. 72 в. 1	187	<i>Querceta (petraea) melittiosa</i>	130	30	45	0,8
4	Лісовий заказник загальнодержавного значення «Вільхава»	Дермансько-Острозький національний природний парк	23	<i>Querceta (petraea) melittiosa</i>	130	30	50	0,7
Житомирська обл.								
5	Ботанічна пам'ятка природи загальнодержавного значення «Урочище Корнів»	Коростенський р-н Словечанська громада Кованське л-во кв. 37	15	<i>Querceta (petraea) rhododendrosa (lutei)</i>	120	28	45	0,7
6	Лісовий заказник місцевого значення «Кам'яна Гірка»	Коростенський р-н Словечанська громада Кованське л-во кв. 36	5,8	<i>Querceta (petraea) rhododendrosa (lutei)</i>	100	28	40	0,7

Об'єкти та методи дослідження

Об'єктами дослідження були скельнодубові ліси Волинського Полісся (Волинська область), Малого Полісся (Рівненська область) та Центрального Полісся (Житомирська область).

Географічне поширення скельнодубових лісів встановлено за результатами польових досліджень, шляхом аналізу наукових публікацій та вивчення гербарних фондів Інституту ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України (KW), Національного ботанічного саду ім. М. М. Гришка НАН України (KWH), Київського національного університету імені Тараса Шевченка (KWU), Львівського національного університету імені Івана Франка (LW), Державного природознавчого музею НАН України у Львові (LWS).

Польові дослідження проведено у 2008–2023 рр. Аналіз угруповань скельнодубових лісів виконано на домінантній основі. Фітоценотичні описи проведено на ділянках площею 0,25 га кожна.

У кожному осередку зростання дуба скельного було закладено по 4–6 таких ділянок.

Для характеристики деревостанів використовували методи лісової таксації. Діаметри дерев вимірювали мірною вилкою на висоті 1,3 м від поверхні землі. Висоту дерев визначали оптичним висотоміром SUUNTO 5.

Результати досліджень

Наводимо описи сучасного стану досліджених нами скельнодубових лісів Полісся (див. таблицю, рис. 1).

Волинське Полісся (Волинська область)

Ботанічні пам'ятки природи місцевого значення «Дуби скельні – 1» (2,1 га) та «Дуби скельні – 2» (0,4 га) розташовані в урочищі Мала Діброва в 57 та 61 кварталах Любохінівського лісництва на території Старовижівської громади Ковельського району (табл., № 1–2). Ці два осередки зростання скельного дуба на Волині

розташовані поряд. Їх розділяє лише вузька «смужка» соснового лісу. Вони приурочені до кінцевоморенних відкладів Волинської моренної гряди, утвореної під час Дніпровського зледеніння. Абсолютні висоти місцевості – 180–200 м, відносні висоти схилів – 10–15 м. Потужні (до 3 м) відклади моренних суглинків з валунами граніту залягають на припіднятій основі крейдової породи. Ґрунти – дерново-середньопідзолисті, утворені на елювії морени.

Рослинний покрив обох пам'яток природи представлений асоціацією *Querceta petraea maianthemosa*. Деревостан монодомінантний. Окрім едифікатора *Q. petraea*, до його складу входять лише поодинокі дерева *Acer platanoides* L., *Betula pendula* Roth, *Carpinus betulus* L., *Malus sylvestris* Mill., *Quercus robur* L., *Pinus sylvestris* L., *Populus tremula* L.

Середній вік деревостану – 130 років, середня висота дерев – 28 м, середній діаметр стовбурів – 40 см, зімкненість крон – 0,8. Трапляються окремі дерева скельного дуба віком понад 200 років. Стовбури окремих дерев дуба скельного мають морозобоїни (рис. 2).

Добре розвинений підріст сформований тими самими видами, що й деревостан. У ньому домінує *Q. petraea*.

Розріджений чагарниковий ярус представлений *Chamaecytisus ruthenicus* (Fisch. ex Wolf.) Klásk., *Corylus avellana* L., *Euonymus verrucosus*

Scop., *Frangula alnus* L., *Sambucus racemosa* L., *Cytisus scoparius* L. Koch.

Трав'яно-чагарниковий ярус добре розвинений. Його проективне покриття – 80 %. У ньому домінує *Maianthemum bifolium* (L.) F.W.Schmidt (60 %). До його складу входять *Vaccinium myrtillus* L. (10 %), *Melittis melissophyllum* L. (5 %), *Ajuga genevensis* L., *Anthoxanthum odoratum* L., *Astragalus glycyphyllos* L., *Aquilegia vulgaris* L., *Betonica officinalis* L., *Campanula persicifolia* L., *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott, *Euphorbia seguieriana* Neck., *Festuca ovina* L., *Fragaria vesca* L., *Galium verum* L., *Geranium sylvaticum* L., *Hepatica nobilis* Mill., *Hieracium glomeratum* (Fries) Naeg. et Peter, *Hieracium pilosella*, *Hypericum perforatum* L., *Lilium martagon* L., *Lathyrus vernus* (L.) Bernh., *Melica nutans* L., *Platanthera bifolia* (L.) Rich, *Primula veris* L., *Ranunculus acris* L., *Sanicula europaea* L., *Scorzonera humilis* L., *Sedum maximum* L., *Silene nutans* L., *Trientalis europaea* L., *Veronica chamaedrys* L., *Vincetoxicum hirundinaria* Medik., *Viola mirabilis* L., проективне покриття яких становить 1 % або менше ніж 1 % для кожного виду. Моховий покрив утворений *Pleurozium schreberi*.

На 1 га площі в цих урочищах припадає в середньому 220 дорослих дерев скельного дуба. На 1 м² припадає в середньому 10 ювенільних рослин *Q. petraea* різних генерацій. В окремих місцях трапляються скупчення рослин перших

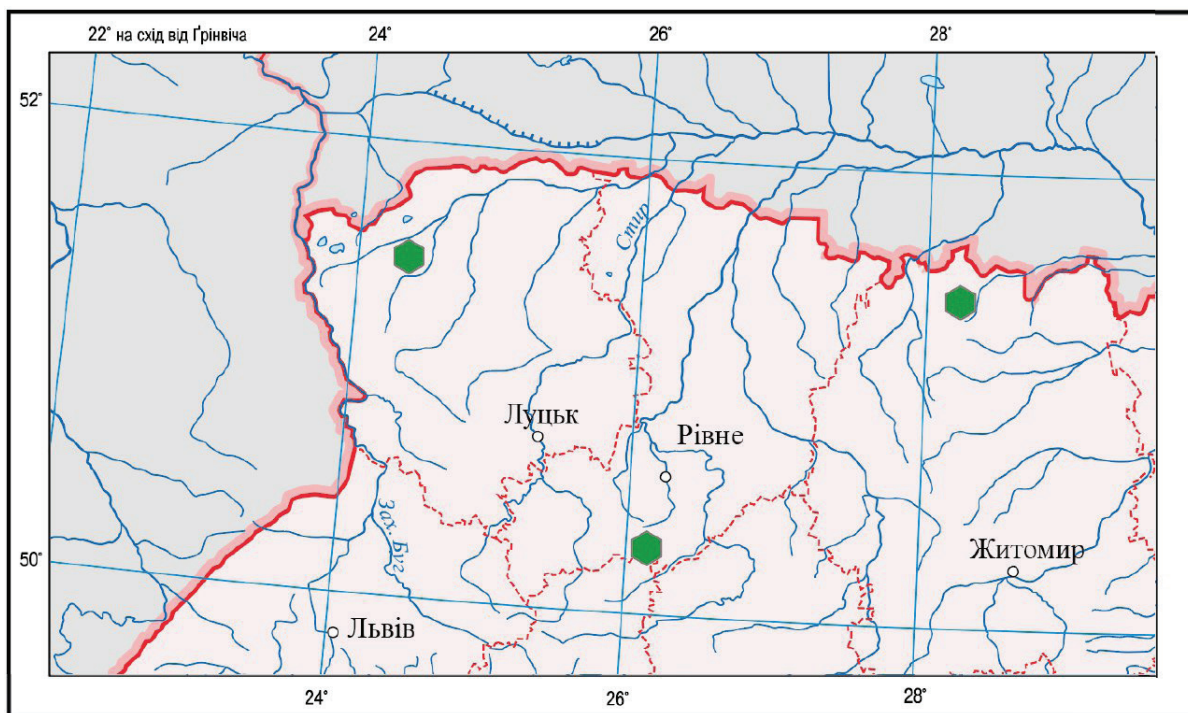


Рис. 1. Географічне поширення скельнодубових лісів на Поліссі



Рис. 2. Скельний дуб із морозобоїною в Любохинівському лісництві (Волинська обл.)



Рис. 3. Лісовий генетичний резерват скельного дуба в Мостівському лісництві (Рівненська обл.)

років життя, де їхня чисельність досягає 100 особин на 1 м². Всі вони насінневого походження, що свідчить про рясне періодичне плодоношення *Q. Petraea* в цьому урочищі.

Мале Полісся (Рівненська область)

Лісові генетичні резервати дуба скельного в Мостівському лісництві (кв. 59, 71, 72) (187 га) та прилеглий до них масив лісу в лісовому заказнику «Вільхав» (23 га) в Дермансько-Острозькому національному природному парку разом є масивом скельнодубового лісу, приуроченим до південних схилів Подільської височини в межах Кременецьких гір (табл., № 3–4). Ці схили є південним уступом Острозької прохідної долини – унікальної частини Малого Полісся – місця найбільшого зближення (2–8 км) між Волинською та Подільською височинами. Отже, цей масив скельнодубових лісів приурочений до ландшафтного екотону між Подільською височиною та Поліською низовиною, відповідно, скельнодубовий ліс Острозької долини є одночасно найбільш північним на Поділлі та найбільш південним на Поліссі осередком зростання *Q. petraea* (рис. 3).

Абсолютна висота місцевості – 320–325 м н. р. м. Перепад висот від підніжжя до вершини схилів – 80–100 м. Тут приповерхнево залягають неогенові оолітові вапняки, які вирізняються

значною міцністю. На їхньому елювії сформувались дерново-підзолисті ґрунти.

Рослинний покрив представлений асоціацією *Querceta petraea melittiosa*. Деревостан монодомінантний. Окрім едифікатора *Q. petraea*, до його складу входять *Acer platanoides*, *Acer pseudoplatanus* L., *Carpinus betulus*, *Quercus robur*, *Pinus sylvestris*, *Tilia cordata*. Середній вік деревостану – 130 років, середня висота дерев – 30 м, середній діаметр дерев – 45 см, зімкненість деревостану – 0,7–0,8. Підріст складається з тих самих порід, що й деревостан. У ньому переважають молоді особини *Q. petraea* різних вікових генерацій.

Підлісок розріджений, утворений *Corylus avellana*, *Frangula alnus*, *Euonymus verrucosus*, *Sorothamnus scoparius*, *Sorbus aucuparia* L. Через високу зімкненість деревостану трав'яний покрив не зімкнений, однак флористично багатий. До його складу входять *Melittis melissophyllum* (5–10 %), *Anthericum ramosum* L., *Anthoxanthum odoratum*, *Aquilegia vulgaris*, *Campanula glomerata*, *Carex digitata*, *Galium verum*, *Festuca ovina*, *Fragaria vesca*, *Euphorbia seguieriana*, *Hieracium pilosella*, *Laserpitium latifolium* L., *Melica nutans*, *Primula veris*, *Ranunculus acris* L., *Scorzonera humilis*, *Silene nutans*, *Veronica chamaedrys*, *Vincetoxicum hirsutinaria*, проєктивне покриття яких становить 1 % або менше ніж 1 %. Тут

зростають також рідкісні, занесені до Червоної книги України, види рослин *Cephalanthera damasonium* (Mill.) Druce, *Cephalanthera longifolia* (L.) Fritsch., *Epipactis helleborine* (L.) Crantz, *Lilium martagon* L., *Lunaria rediviva* L., *Neottia nidus-avis* (L.) Rich., *Platanthera bifolia* (L.), *Platanthera chlorantha* (Cust.) Rehb. та регіонально рідкісні види *Geranium phaeum* L., *Phyteuma spicatum* L. Моховий покрив фрагментарний і представлений *Pleurozium schreberi*.

На 1 га площі цього лісового масиву припадає в середньому 200 дорослих дерев скельного дуба, водночас у підрості є молоді особини скельного дуба різних генерацій.

Центральне Полісся (Житомирська область)

Ботанічна пам'ятка природи загальнодержавного значення «Урочище Корніїв» (37 квартал Кованського лісництва, площа – 15 га) та лісовий заказник місцевого значення «Кам'яна Гірка» (36 квартал Кованського лісництва, площа – 5,8 га) розташовані неподалік одне від одного в околицях с. Червонка Словечанської громади Коростенського району. Вони є унікальними осередками зростання *Q. petraea* разом з реліктовим видом *Rhododendron luteum* Sweet. (рис. 4, 5), приуроченими до найбільш піднятої частини Поліської низовини – Словечансько-Овруцького кряжу, абсолютні висоти якого перевищують 300 м н. р. м.



Рис. 4. Скельнодубово-рододендроновий ліс Овруцько-Словечанського кряжу (Кованське лісництво, Житомирська обл.)

Перепади висот між підніжжям і вершинами схилів досягають 60 м. Тут приповерхнево залягають і місцями виходять на поверхню рожеві кварцити. Слаборозвинені опідзолені ґрунти сформувались на елювії цієї гірської породи.

Рослинний покрив обох заповідних територій представлений угрупованням скельнодубових лісів рододендронових *Querceta (petraea) rhododendrosa (lutei)*.

Деревостани монодомінантні. Окрім едифікатора, до складу деревостанів входять поодинокі дерева *Betula pendula*, *Malus sylvestris*, *Pinus sylvestris*, *Populus tremula*, *Sorbus aucuparia* L. Вік деревостану – 100–120 років, середня висота дерев – 28 м, середній діаметр стовбурів – 45 см, зімкненість крон – 0,7.

У підрості представлені ті самі види, що й у деревостані. Він зосереджений у місцях, вільних від чагарникових заростей.

Чагарниковий ярус доволі густий. Його проективне покриття – 0,8. У ньому домінує *Rhododendron luteum*, проективне покриття – 0,7. До його складу також входять *Rubus canescens* D.C., *Sarothamnus scoparius*.

Трав'яно-чагарничковий ярус слабо розвинений. Його проективне покриття – 30 %. Домінують *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn (5 %) та *Vaccinium myrtillus* L. (5 %). До його складу



Рис. 5. Рододендрон жовтий *Rhododendron luteum* Sweet.

входять також *Agrostis gigantea* Roth, *Anemone nemorosa* L., *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth, *Calluna vulgaris* (L.) Salisb., *Festuca ovina*, *Juncus effusus* L., *Luzula pilosa* (L.) Willd., *Lysimachia vulgaris* L., *Molinia caerulea* L., *Maianthemum bifolium* (L.) F.W.Schm., *Melampyrum lacinium* Koshev. et Zing., *Nardus stricta* L., *Poa nemoralis* L., *Potentilla erecta* (L.) Raeusch., *Trientalis europaea* L., *Viola reichenbachiana* Jord. ex Boreau.

Моховий покрив не суцільний, а фрагментарний. До його складу входять *Dicranum scoparium* Hedw. та *Leucobryum glaucum* (Hedw.) Schimp.

До складу деревостану входять у середньому 180 дерев скельного дуба на 1 га площі. Через значну загущеність чагарникового ярусу підріст не густий, однак у місцях, вільних від чагарників, є ювенільні особини *Q. petraea* різних генерацій.

Обговорення результатів досліджень. Згідно із З. Ф. Савченко-Погребняк [6], східна межа островного поширення *Q. petraea* в Європі проходить від побережжя Балтійського моря в районі м. Калінінграда по лінії міст Білосток – Беловсж – Ковель – Луцьк – Кременець – Тернопіль – Дунаївці – Нова Ушиця – Шаргород – Вапнярка – Бершадь – Гайворон і досягає Саврані – крайньої південної точки поширення виду на Східноєвропейській рівнині. У той час у літературі не було даних про угруповання *Q. petraea* на Поліссі. Єдиний осередок зростання цього виду був зафіксований в Українському Поліссі в дубово-сосновому лісі на території Шацького національного природного парку, де було виявлено лише поодинокі особини *Q. petraea*. У Білоруському Поліссі *Q. petraea* не був виявлений. Поза межами Полісся в Білорусі відомий єдиний масив скельнодубового лісу, що займає площу близько 1000 га в Біловезькій Пущі [7].

В Українському Поліссі значний осередок скельнодубових лісів на Овруцько-Словечанському кряжі виявив Г. К. Смик [8]. На сьогодні, згідно з даними обліку лісового фонду, скельнодубові ліси Овруцько-Словечанського кряжу займають площу близько 1600 га в межах Велідницького, Городецького, Кованського, Листвинського, Нагоряньського, Можарівського, Сирницького, Тхоринського та Усівського лісництв. Переважна більшість цих деревостанів сформувалась на місці вирубаних після Другої світової війни шляхом природного поновлення. Найбільш цінними у фітосозологічному аспекті є досліджені нами скельнодубові ліси в ботанічній пам'ятці загальнодержавного значення «Урочище Корніїв» та лісовому заказнику місцевого значення «Кам'яна Гірка». Перспективними для заповідання є скельнодубові ліси Городецького лісництва, де збереглися

вікові деревостани. Заслужують на охорону також окремі вікові – 150–300-річні дерева скельного дуба в околицях с. Дуби з окружністю стовбурів 3,5–5,0 м (рис. 6).

Скельнодубові ліси на межі Подільської височини та Малого Полісся на крайньому півдні Рівненської області виявив Р. І. Савчук [9], їх детально описано в нашій попередній публікації [7]. Найцінніші з них перебувають під охороною (табл., № 3–4). Вони займають велику площу – 220 га. Загалом площа деревостанів з участю скельного дуба на Малому Поліссі становить близько 1000 га. У 3 виділі Мостівського лісництва дуб скельний входить до складу діброви з домінуванням дуба звичайного на площі 44,5 га. У минулому цей осередок зростання скельного дуба займав значно більшу територію – близько 4000 га, однак після Другої світової війни на значних площах був вирубаний і заміщений малопродуктивними культурами сосни звичайної [10].

Оскільки скельнодубові угруповання на території Дермансько-Острозького національного природного парку та на території лісових генетичних резерватів у Мостівському лісництві становлять єдиний лісовий масив (табл., № 3–4), в перспективі зазначені лісові генетичні резервати доцільно вводити до складу



Рис. 6. Віковий скельний дуб в околицях с. Дуби (Житомирська обл.)

Дермансько-Острозького національного природного парку. Варто також провести реконструкцію малопродуктивних насаджень сосни звичайної шляхом поступового їх заміщення культурами скельного дуба.

Найменший за площею осередок скельнодубових лісів розташований на Волинському Поліссі (табл., № 1–2). У недалекому минулому він був значно більшим. Наприкінці минулого століття поблизу урочища Мала Діброва (табл., № 1–2) було урочище Велика Діброва (площа 308 га), в якому зростали *Q. petraea*, *Q. robur* та їхні гібриди [7]. На жаль, у новому тисячолітті цей деревостан був вирубаний, а отже, було знищено цінний генофонд та флористичне різноманіття унікальної діброви.

Попри різноманітність місцезростань скельнодубових лісів Полісся, для їхніх екотопів характерні деякі спільні риси. Хоч дерново-підзолисті ґрунти екосистем скельнодубових лісів сформувались на елювії гірських порід (кварцити, оолітові вапняки, морена з валунами гранітів) різного геологічного віку, походження та мінералогічного складу, для всіх едафотопів характерне приповерхнєве залягання механічно міцних материнських порід. Механічна міцність едафотопу є несприятливим екологічним фактором для росту й розвитку переважної більшості видів дерев.

На відміну від них *Q. petraea* вже на початку онтогенетичного розвитку формує кореневу систему, здатну проникати у твердий ґрунт. Жолуді дуба скельного проростають восени (не навесні наступного року, як у дуба звичайного!). Навесні наступного року формується потужний стрижневий корінь скельного дуба. Згодом утворюється система різнонаправлених коренів, завдяки чому цей дуб добре адаптується до складних ґрунтових умов.

Специфічними є і мікрокліматичні умови місцезростань *Q. petraea* поблизу східної межі його ареалу в Європі. Досліджуючи скельнодубові ліси Подільської височини, П. С. Погребняк [11] встановив, що вони унікають високих і понижених місць і локалізуються на схилах, де «повітряний дренаж» і швидший відтік холодних повітряних мас у зимовий час оберігає *Q. petraea* від заморозків. Ця закономірність повною мірою проявляється і на Поліссі, відповідно, на всій східній межі ареалу. У найбільш понижених частинах схилів, де може бути застій холодного повітря, є дерева, пошкоджені морозобоїнами.

Приуроченість скельнодубових лісів Полісся, а також Поділля [4,11] до схилів і відсутність на плато дає підстави зарахувати їх до

екстразональних лісових угруповань на Східноєвропейській рівнині. Вони є екстразональними фітоценозами також на рівнинах Центральної Європи [12]. У Європі зональні скельнодубові ліси поширені в Середземномор'ї [13].

Як уже зазначено вище, питання про час формування скельнодубових угруповань на Поліссі та в рівнинній частині України загалом є дискусійним. Ф. О. Гринь [5] вважав, що у своїй нинішній експансії на північ та на північний схід *Q. petraea* залишив далеко позаду типових для скельнодубових лісів представників чагарникового та трав'яного ярусів і зростає в чужих для нього фітоценотичних умовах. На противагу цьому Г. К. Смик [14] зараховував скельнодубові ліси Полісся до реліктових формацій і вважав, що ряд характерних для неї видів зник порівняно недавно через значні вирубки та зростаючу континентальність клімату, однак деякі з них (*Rhododendron luteum*, *Hedera helix* L., *Betula obscura* A.Kotula та *Melittis melissophyllum*) збереглися до нашого часу. Навряд чи можливо погодитись з автором цієї гіпотези, що ці види, за винятком *Rhododendron luteum*, є реліктовими. До того ж видова самостійність деяких із них є вкрай сумнівною.

Ботаніко-географічні та палеоботанічні дані свідчать про те, що *Rhododendron luteum* є третинним реліктом флори Полісся. Диз'юнктивний ареал цього виду охоплює переважно Малу Азію та Кавказ, з окремим ексклавом на Поліссі та ізолюваними локальними популяціями в Середній Європі – в Польщі, Австрії, Словенії та на острові Лесбос у Греції. Поліський ексклав *Rhododendron luteum* розташований у Центральному Поліссі (північний схід Рівненської області та північ Житомирської області) і займає площу близько 150 кв. км. На Поліссі цей вид зростає переважно в соснових *Pineta (silvestris) rhododendrosa (lutei)* та дубово-соснових лісах (дуба звичайного) *Querceto (roboris) – Pineta (silvestris) rhododendrosa (lutei)*, де проєктивне покриття *Rhododendron luteum* досягає 85 % [7]. Два осередки скельнодубово-рододендронових лісів на Овруцько-Словечанському кряжі, описані вище, є унікальними, єдиними в Європі рослинними угрупованнями такого типу.

Отже, Овруцько-Словечанський кряж, як і Центральне Полісся загалом, є унікальним рефугіумом третинних реліктів, включно з *Q. petraea*. Локальні популяції цього виду на Волинському Поліссі, приурочені до моренових відкладів, є, очевидно, реліктами міндель-рісського інтергляціалу. Такими ж реліктами є скельнодубові ліси Малого Полісся в Острозькій прохідній долині, яка

утворилась і формувалась у льодовиковому періоді. Як рідкісні, реліктові, екстразональні угруповання скельнодубові ліси Полісся становлять значний інтерес із фітосозологічного погляду. Їхня охорона є задовільною, оскільки найбільш репрезентативні з них охоплені мережею природно-заповідних територій (див. таблицю). Для поліпшення їхньої охорони лісові генетичні резервати дуба скельного в Мостівському лісництві на Рівненщині варто включити до національного природного парку «Дермансько-Острозький». Скельнодубові ліси рододендронові слід включити до проєктованого національного природного парку «Словечансько-Овруцький кряж». Перспективними для охорони є деякі ділянки вікових скельнодубових лісів у Городецькому лісництві та окремі вікові дерева скельного дуба в околицях с. Дуби на Житомирщині, оскільки *Q. petraea* є найбільш посухостійким видом лісових дерев помірного поясу Євразії, він є перспективним для закладки лісових культур в умовах глобального потепління [15]. Для підвищення продуктивності лісів Полісся потрібно провести їх реконструкцію, замістивши малопродуктивні соснові культури, закладені на місці зведених скельнодубових лісів, лісовими культурами дуба скельного з місцевого насіння.

Висновки

Скельнодубові ліси Полісся – це реліктові екстразональні угруповання, розташовані поблизу східної межі ареалу їхнього едификатора *Quercus petraea*. Зафіксовано лише три острівні осередки зростання цього виду в регіоні. Острівна локалізація скельнодубових лісів на Поліссі і на Східноєвропейській рівнині загалом пов'язана з їхньою приуроченістю до специфічних екотопів, розміщених на схилах південної експозиції, для мікрокліматичних умов яких характерний більш теплий температурний режим порівняно з плакором. Особливістю едафотопів скельнодубових лісів Полісся є їхня сформованість на елювії твердих гірських порід (рожеві кварцити, оолітові вапняки, морена з валунами граніту). У таких умовах едификатор цих лісів має велику конкурентоспроможність і формує гомеостатичні популяції.

Унікальні скельнодубові угруповання Полісся забезпечені охороною в кожному з трьох осередків. Зважаючи на цінність генофонду *Q. petraea* на східній межі ареалу, потрібно розширювати площу лісових культур дуба скельного на Поліссі.

Список літератури

1. Eaton E, Caudullo G, Oliveria S, de Rigo D. *Quercus robur* and *Quercus petraea* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: European Atlas of forest tree species. Luxembourg: Publ. Office of the European Union; 2016. p. 160-63.
2. Дидух ЯП. Растительный покров горного Крыма (структура, динамика, эволюция и охрана). Киев: Наукова думка; 1992. 256 с.
3. Стойко СМ. Дубові ліси Українських Карпат. Екологічні особливості, відтворення, охорона. Львів: Меркатор; 2009. 220 с.
4. Srafer W. Las i step na Zachodniem Podolu. Rozprawy Wydziału Matematyczno-Przyrodniczego Akademii Umiejętności. 1935; 71(2):1-123.
5. Гринь ФО. Дубові та широколистяно-дубові ліси. У: Рослинність УРСР. Ліси. Київ: Наукова думка; 1971. с. 194-339.
6. Савченко-Погребняк ЗФ. Горный дуб (биология и способы разведения). Киев: Изд-во Академии наук УССР; 1955. 144 с.
7. Мельник ВИ. Редкие виды флоры равнинных лесов Украины. Киев: Фитосоцицентр; 2000. 212 с.
8. Смык ГК. Дуб скальный *Quercus petraea* Liebl. в Житомирском Полесье. Ботанический журнал. 1965;30(8):1130-31.
9. Савчук РИ. Дуб скальный в Ровенской области. Лесное хозяйство. 1986;43(3):83-8.
10. Лисиця АВ, Савчук РІ. *Quercus petraea* Liebl. на Рівненщині. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія». 2023;4(54):40-5.
11. Погребняк ПС. Лісорослинні умови Поділля. У: Погребняк ПС. Лісова екологія і типологія лісів. Вибрані праці. Київ: Наукова думка; 1993. с. 112-85.
12. Walter H, Straka H. Arealkunde. Floristisch-historische Geobotanik. 2. Auflage. Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag; 1970. 479 S.
13. Horvat I, Glavač V, Ellenberg H. Vegetation Südosteuropas. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag; 1974. 769 S.
14. Смык ГК, Бортняк НН. Дубово-рододендроновые леса *Querceta (petraea) rhododendrosa (lutei)* на Словечанско-Овручском кряже (Украина, Центральное Полесье). Ботанический журнал. 1984;69(4):525-7.
15. Černý J, Špulák O, Kománek M, Žižková E, Sýkora P. Sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and its adaptation strategies in the context of global change: a review. Cent. Eur. For. J. 2024;70(2):1-18. doi:10.2478/forj-2024-0012

References

1. Eaton E, Caudullo G, Oliveria S, de Rigo D. *Quercus robur* and *Quercus petraea* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: European Atlas of forest tree species. Luxembourg: Publ. Office of the European Union; 2016. p. 160-63.
2. Diduch JaP. Plant cover of Crimean Mountains (structure, dynamic, evolution and protection). Kyiv: Naukova Dumka; 1992. 256 p. Russian.
3. Stojko SM. Oak forests of Ukrainian Carpathians: Ecological peculiarities, Restoration, Conservation. Lviv: Merkator; 2009. 220 p. Ukrainian.
4. Srafer W. Las i step na Zachodniem Podolu. Rozprawy Wydziału Matematyczno-Przyrodniczego Akademii Umiejętności. 1935; 71(2):1-123.
5. Hryn FO. Oak and deciduous-oak forests. In: Vegetation of USSR. Forests. Kyiv: Naukova Dumka; 1971. p. 191-339. Ukrainian.
6. Savchenko-Pogrebna ZT. Mountain oak (biology and breeding methods). Kyiv: Academy of Sciences of USSR; 1955. 144 p. Russian.

7. Melnyk V.I. Rare species of the flora of plain forests of Ukraine. Kyiv: Fitosociocentr; 2000. 212 p. Russian.
8. Smyk H.K. Durmast oak *Quercus petraea* Liebl. in Zytomyr Polissia. Botan Journ. 1965;30(3):1130-31. Russian.
9. Savchuk R.J. Durmast oak in Rivne region. Forestry. 1986;43(3):83-8. Russian.
10. Lysytsa A.V., Savchuk R.J. *Quercus petraea* in the Rivne region. Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series "Agronomy and Biology." 2023;4(54):40-5. Ukrainian.
11. Pogrebnak P.S. Forest condition of Podilla. In: Pogrebnak P.S. Forest ecology and typology of the forests. Selected works. Kyiv: Naukova Dumka; 1993. p. 112-85. Russian.
12. Walter H., Straka H. Arealkunde. Floristisch-historische Geobotanik. 2. Auflage. Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag; 1970. 479 S.
13. Horvat I., Glavač V., Ellenberg H. Vegetation Südosteuropas. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag; 1974. 769 S.
14. Smyk H.K., Bortnak N.N. Oak rhododendron forests *Querceta (petraea) rhododendrosa (lutei)* in Slovechzhansko-Ovruchskij ridge (Ukraine, Central Polissia). Botan. Journ. 1984;69(4):525-7. Russian.
15. Černý J., Špulák O., Kománek M., Žižková E., Sýkora P. Sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and its adaptation strategies in the context of global change: a review. Cent. Eur. For. J. 2024;70(2):1-18. doi:10.2478/forj-2024-0012

V. Melnyk

M. M. Gryshko National Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

REGULARITIES IN THE GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION OF DURMAST OAK FORESTS IN POLISSIA

Abstract

The regularities of geographical distribution and the current state of rare phytocoenosis are essential tasks of ecological research. The durmast oak forests of Polissia are such plant communities. The subjects of the study were the durmast oak forests of Volyn Polissia (Volyn region), Maly Polissia (Rivne region), and Central Polissia (Zhytomyr region). Field studies were conducted in 2008–2023. Phytocenotic descriptions were carried out on plots of 0.25 ha each. The edifier of these forests, the durmast oak *Quercus petraea* Mattuschka (Liebl.), is a stenotopic species of Polissian flora, typical of specific ecotopes with warm microclimatic conditions on south-facing slopes and soddy-podzolic soils, formed on the eluvium of brim rocks (pink sandstones, limestone oolites, and moraine with granite boulders). In contrast to zonal oak forests formed by *Quercus robur* L., durmast oak forests are insular, extrazonal communities of Polissia. The Ovruch-Slovehansky ridge, like Central Polissia in general, is a unique refugium of Tertiary relicts, including *Q. petraea*. Local populations of this species in Volyn Polissia, confined to moraine deposits, are apparently relicts of the Mindel-Riss interglacial. The same relicts are the sedge forests of Maly Polissia in the Ostroh Pass Valley, which were formed and shaped during the glacial period. As rare, relict, extrazonal communities, the durmast oak forests of Polissia are of considerable interest from a phytosociological perspective. The protection of durmast oak forests in Polissia is now sufficiently ensured. It only requires some improvement. Taking into account the value of gene pool of *Quercus petraea* near the eastern limit of its range in Europe, it is necessary to expand the afforestation efforts for this species in Ukraine.

Keywords: durmast oak *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl., range, forest, habitat, population, protection, community.

ARTICLE HISTORY. Submitted 29 May 2025. Accepted 16 June 2025. Published 18 August 2025

Відомості про автора Author Information

Мельник Віктор Іванович – доктор біологічних наук, завідувач відділу природної флори Національного ботанічного саду імені М. М. Гришка НАН України, Київ, Україна

Melnyk Viktor – Doctor of Biological Sciences, Head of Department of Natural Flora of M. M. Gryshko National Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0009-0004-9072-1297>

melnykviktor6@gmail.com



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

DOI: 10.18523/2617-4529.2025.8.90-97

УДК 582.998.2(477.46):581.9:502.74

Чиж О. В.

Національний ботанічний сад імені М. М. Гришка НАН України, Київ, Україна

ГЕОГРАФІЧНЕ ПОШИРЕННЯ ТА СТАН ПОПУЛЯЦІЙ *ASTRAGALUS DASYANTHUS* PALL. У ЧЕРКАСЬКІЙ ОБЛАСТІ

У статті описано нові знахідки рідкісного, занесеного до Червоної книги України виду – астрагалу шерстистоквіткового (*Astragalus dasyanthus* Pall.). На основі опрацювання гербарних фондів, літературних джерел та власних експедиційних виїздів узагальнено дані про його поширення в Черкаській області. Подано детальний перелік локалітетів виду за адміністративними районами області. Нове місцезнаходження виявлено поблизу села Березняки Черкаського району біля залізничного насипу. Наведено ботаніко-географічну характеристику локалітетів, видовий склад фоновієї рослинності, чисельність та стан популяції. Описано еколого-ценотичні умови, у яких зростає популяція, а також виявлені вікові групи особин. Оцінено антропогенний вплив на угруповання. Дослідження базується на опрацюванні понад 150 (із них близько 20 стосуються Черкащини) гербарних аркушів провідних наукових установ України (KW, KWHA, KWU, PW), а також на результатах власних польових обстежень із GPS-фіксацією локалітетів у 2024–2025 рр. Картографування виконано в програмі Google Earth Pro, а дані про нові популяції внесено до соціальної мережі iNaturalist. Використано історичний та сучасний адміністративний поділ області для точної інтерпретації даних про поширення *Astragalus dasyanthus*. Загалом встановлено 23 локалітети виду, серед яких три є нововиявленими, зокрема в с. Березняки Черкаського району. Здійснено геоботанічні описи та аналіз онтогенетичних спектрів популяцій. Знахідка розширює дані про сучасний ареал виду в Україні та є важливою для формування рекомендацій щодо його охорони, особливо в умовах трансформації природних екосистем. Отримані результати підкреслюють необхідність надання природоохоронного статусу виявленим популяціям і запровадження регіонального моніторингу. Додатково звернено увагу на те, що для повноцінного збереження виду потрібно проводити періодичне спостереження за станом його популяцій. Рекомендовано розробити і впровадити місцеві плани охорони, залучати громадськість та інформувати населення про значення цього рідкісного виду. Також важливо забезпечити підтримку біотопів і не допускати їхньої деградації, особливо в степових та лучно-степових зонах Черкаської області.

Ключові слова: *Astragalus dasyanthus*, Червона книга України, місцезнаходження, локалітет, степові екосистеми, охорона.

Вступ

Astragalus dasyanthus Pall. (астрагал шерстистоквітковий) – представник родини Бобові (*Fabaceae*), занесений до Червоної книги України, природоохоронний статус виду – вразливий [1]. На території Черкаської області вид трапляється переважно на південних та південно-західних схилах, у межах природних або частково

трансформованих лучно-степових екотопів, часто приурочених до вапнякових відслонень або ділянок з добре дренованими субстратами поблизу техногенних об'єктів, зокрема залізничних насипів [2-4]. За даними регіонального екологічного моніторингу, в Черкаській області охороняється 75 видів судинних рослин, занесених до Червоної книги України, серед яких

і *A. dasyanthus*. Вид має обмежений ареал поширення та високу чутливість до змін гідрологічного режиму, інтенсивного випасу й розорювання. З метою запобігання втраті локальних популяцій *A. dasyanthus* на регіональному рівні ведуть облік і відстеження його стану. Зокрема, у звіті «Охорона та відтворення видів рослин та грибів, занесених до Червоної книги України...» наголошено на потребі збереження природних фітоценозів, у яких трапляється цей вид, та створення охоронних зон довкола популяцій [5].

Вивчення сучасного поширення цього виду в Черкаській області є актуальним завданням у контексті моніторингу стану степових екосистем і розроблення заходів їх охорони. Систематизація даних про локалітети виду та виявлення нових місцезнаходжень сприяє удосконаленню регіональних природоохоронних стратегій.

Матеріали і методи

Упродовж 2024–2025 рр. проведено аналіз гербарних фондів Національного ботанічного саду імені М. М. Гришка НАН України (КВНА), Інституту ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України (KW), Київського національного університету імені Тараса Шевченка (KWU), Полтавського краєзнавчого музею імені Василя Кричевського (PW), Черкаського краєзнавчого музею, літературних джерел [1-3,5] та результатів власних польових досліджень [4].

Здійснено маршрутно-експедиційні обстеження потенційних місцезростань виду з GPS-фіксацією координат знахідок. Картосхему нововиявлених локалітетів розроблено в програмі Google Earth Pro, координати нових знахідок завантажено на платформу iNaturalist [6]. Назви таксонів наведено за електронною базою даних Plants of the World Online (POWO, 2024 – onward) [7]. Опис фітоценозів здійснено за методикою Браун-Бланке [8].

Результати та обговорення

У результаті опрацювання гербарних матеріалів та літературних джерел встановлено поширення *A. dasyanthus* на території Черкаської області. У 2024 р. під час експедиційних досліджень у природних та трансформованих ділянках рослинності лучних степів (с. Березняки, с. Райгород, Черкаський р-н) виявлено нові знахідки виду поблизу села Березняки Черкаського району. Популяцію астрагалу зафіксовано у трьох просторово розмежованих локалітетах, приурочених до фрагментів лучно-степової рослинності вздовж залізничного насипу (рис. 1). Поширення виду в Черкаській області наведено нижче за гербарними та літературними джерелами.

Для хронологічного аналізу використано гербарні та літературні дані, в яких локалітети подано відповідно до адміністративно-територіального поділу до адміністративної реформи 2020 р. Через це для узгодження з джерелами в тексті збережено назви старих районів. Згідно з новим адміністративним устроєм, запровадженим у 2020 р., нині Черкаська область має чотири райони: Уманський, Звенигородський, Черкаський та Золотоніський.

Черкаський район охоплює колишні Черкаський, Чигиринський, Канівський, Кам'янський, Смілянський райони та частину Золотоніського району, який утворений із територій колишніх Золотоніського, Драбівського та Чорнобаївського районів.

Отже, в інтерпретації розміщення локалітетів *A. dasyanthus* слід брати до уваги відповідність між історичними та сучасними адміністративними межами. Перелік місцезнаходжень астрагалу шерстистоквіткового в Черкаській області наведено за літературними та гербарними даними.

Кам'янський р-н: м. Кам'янка, Черкаська обл., степовий схил у балці (Клеопов Ю. Д., 03.06.1927 (KW)); по дорозі Ярове – Копійчана, степові схили (Курсон В. В., 03.08.1972 (KW)); м. Кам'янка, гранітний берег р. Тясмин (13.06.1943 (KW)); м. Кам'янка – 49.041269, 32.084557 (Ширяєва Д. В., 2017 р.); окол. с. Райгород – 49.089182, 31.980147 (Ширяєва Д. В., 2017 р.); окол. с. Ярове – 49.069353, 31.994611 (Ширяєва Д. В., 2017 р.).

Золотоніський р-н: с. Гельмязів, над болотом р. Супій (Зеров Д. К., 02.08.1928 (KW)).

Драбівський р-н: окол. с. Драбівці, степові схили (Крицька Л. І., 03.06.1977 (KW)).

Чигиринський р-н: с. Кожарка, південний схил яру (Постригань С. А., 03.08.1923 (KW)); м. Чигирин, на Кам'яній горі, схили гори (Постригань С. А., 23.07.1923 (KW)); м. Чигирин, Замкова гора – 49.074491, 32.658659 (Спрягайло О. А., Спрягайло О. В., 2018 р.); м. Чигирин, Замкова гора – 49.074530, 32.657860 (Конякін С. М., 2013 р.).

Золотоніський р-н: с. Богдани, урочище Сніжки (Дубовець Т. Г., 28.06.1997 (КВНА)); с. Гельмязів, над болотом р. Супій (Зеров Д. К., 02.08.1928 (KW)); с. Нова Дмитрівка, на неораній могилі (Полонська Є. Т., 17.07.1932 (KW)); с. Бубнівська Слобідка (Ісай С. В., 21.06.1983 (KWU)); с. Бубнівська Слобідка, північно-східна околиця, схил по правому борту Капустяного яру (Савченко З. А., 20.08.1991 (Черкаський обласний краєзнавчий музей)); окол. с. Бубнівська Слобідка – 49.677549, 31.666135 (Шевчик В. Л., Бакалина Л. В., Полішко О. Д., 2017 р.); окол.

с. Бубнівська Слобідка – 49.716594, 31.708764 (Ширяєва Д. В., 2016 р.).

Чорнобаївський р-н: с. Придніпровське, урочище Джулайка, берег Дніпра, на схилах у складі степової рослинності (Савченко З. А., 26.05.1998 (Черкаський обласний краєзнавчий музей)).

Смілянський р-н: с. Мала Смілянка, схил до Одеської залізниці (Клеопов Ю. Д., 02.06.1924 (KW)); с. Яблунівка, степові схили над залізницею (Клеопов Ю. Д., 02.06.1924 (KW)); біля с. Березняки, понад 10 екземплярів – 49.145438, 31.943060 (Гаврилюк М. Н., 2020 р.).

Канівський р-н: окол. с. Полствин – 49.638912, 31.353625 (Шевчик В. Л., Бакалина Л. В., Полішко О. Д., 2004–2017 рр.); окол. с. Пилява – 49.689072, 31.263327 (Шевчик В. Л., Бакалина Л. В., Полішко О. Д., 2004–2017 рр.); гора Варшавка біля с. Пилява – 49.678935, 31.318044, велика стабільна популяція (Шевчик В. Л., Бакалина Л. В., Полішко О. Д., 2005 р.) [9–14].

Нова знахідка поблизу с. Березняки.

Під час експедиційних обстежень у червні – серпні 2024 р. було виявлено нову популяцію *A. dasyanthus* на південно-західному схилі залізничного насипу в межах с. Березняки (рис. 1). Локалітети внесено до платформи iNaturalist [6]. Координати: локалітет № 1 – 49.14809472, 31.96194693; локалітет № 2 – 49.14854824, 31.96163647; локалітет № 3 – 49.14693699, 31.96264967.

У межах нового локалітету *A. dasyanthus* поблизу с. Березняки (Черкаський р-н) вид зростає на трьох ділянках, приурочених до лучно-степових угруповань на різному за типом субстраті

та рівнем антропогенного впливу. Проведено геоботанічні описи та визначено флористичну структуру угруповань і онтогенетичну структуру популяцій.

Лучно-степове угруповання має високий рівень проєктивного покриття трав'яного ярусу (рис. 2). Домінує *Medicago falcata* (75 %). Серед адвентивних представників є види *Asclepias syriaca* та *Ptelea trifoliata*, які істотно впливають на формування фітоценозу.

Виявлено, що в онтогенетичній структурі популяції переважають генеративні особини, що свідчить про стабільність угруповання, а наявність іматурних та поодиноких ювенільних особин вказує на здатність до поновлення популяції цього виду (рис. 3).

Локалітет № 1 розташований на відкритому піщаному схилі залізничного насипу в межах Черкаського району, представлений трансформованим лучно-степовим угрупованням з участю деревно-чагарникової рослинності. Деревний ярус утворюють поодинокі особини *Ulmus minor*, *Ptelea trifoliata*, *Elaeagnus angustifolia*, *Prunus armeniaca*, *Morus alba*, *Pyrus communis* із загальним проєктивним покриттям до 15 %. Чагарниковий ярус та підріст розвинені слабо і представлені здебільшого поодинокими особинами *Cornus sanguinea*, *Ulmus minor* і *Morus alba*. Трав'янистий покрив щільний (80–90 %) з домінуванням *Medicago falcata*, *Koeleria macrantha*, *Agrimonia eupatoria*, *Astragalus onobrychis* та *Lotus corniculatus*. Загалом виявлено понад 30 видів судинних рослин, серед яких *A. dasyanthus* трапляється у складі фонові флори [8].

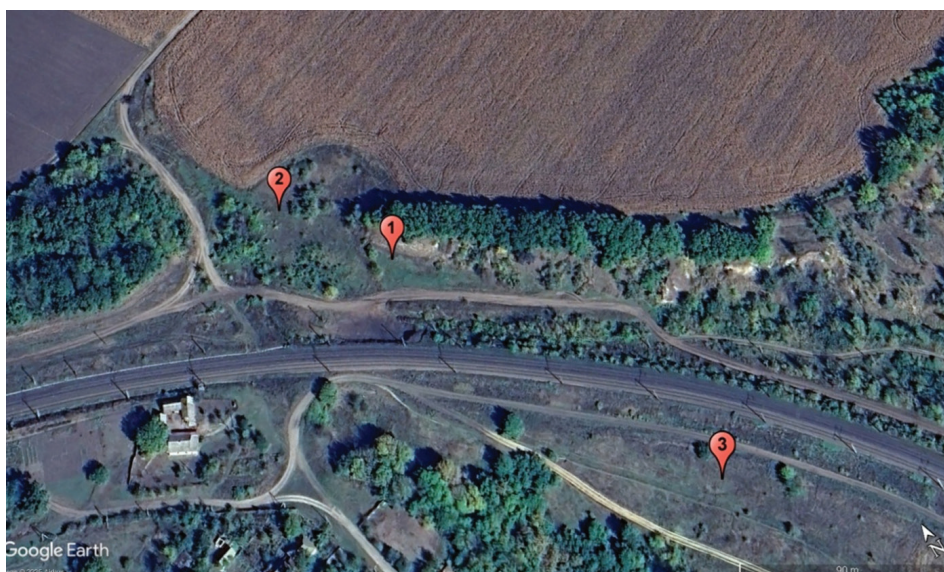


Рис. 1. Картохема розташування локалітетів № 1–3 з популяціями *A. dasyanthus* поблизу с. Березняки Черкаського району (Google Earth, 2024 р.)

Спектри онтогенетичних станів популяції представлені всіма віковими групами з переважанням генеративних (24 %) та віргінільних (22 %) особин; частка іматурних становить 17 %, ювенільних – лише 2 %.

Популяція демонструє ознаки регенераційної стабільності, однак низька частка молодих особин вказує на обмежене природне поновлення, імовірно, через конкуренцію з боку бобових домінантів та дію антропогенних факторів. Фітоценоз відповідає лучно-степовій формації, є осередком збереження регіонального флористичного різноманіття та потребує моніторингу й заходів охорони.

Локалітет № 2 належить до класу *Festuco-Brometea*, союзу *Festucion valesiacae*, тобто до угруповання лучних степів і остепнених лук

на глибоких ґрунтах, що поширені переважно в лісостеповій зоні. Виникає проблема проникнення в степові ценози агресивного виду *Ptelea trifoliata*.

У деревному ярусі переважають *Elaeagnus angustifolia*, *Ptelea trifoliata* та *Prunus armeniaca*, що свідчить про значну трансформацію ценозу. Чагарниковий ярус представлений лише *Cornus sanguinea*. Трав'яний ярус має високу флористичну насиченість (17 видів) із чітко вираженим домінантом *Medicago falcata*, що формує основу травостою. Значну фітоценотичну роль відіграють субдомінанти: *Agrimonia eupatoria*, *Astragalus onobrychis* та *Lotus corniculatus*. Наявність у складі угруповання созофіта *Astragalus dasyanthus* поряд із синантропними видами



Рис. 2. Локалітет № 1 *A. dasyanthus*: східний схил із розрідженим узліссям, північно-східна околиця с. Березняки Черкаського району

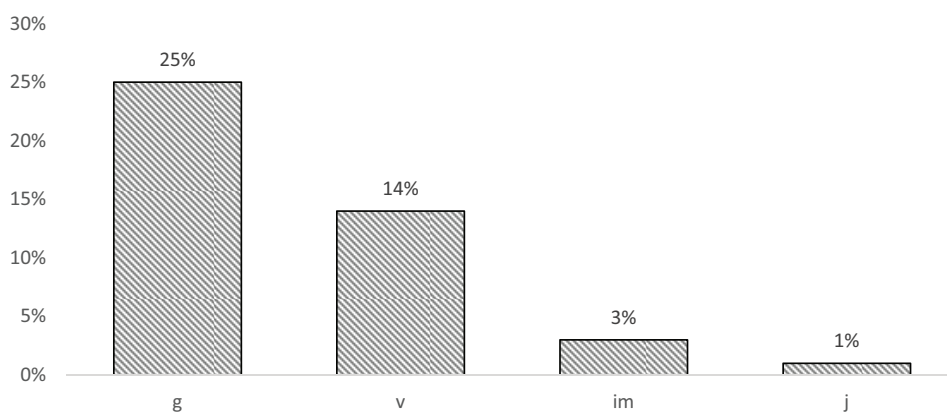


Рис. 3. Спектри онтогенетичних станів *A. dasyanthus* у локалітеті № 1 (g – генеративні, v – віргінільні, im – іматурні, j – ювенільні особини)

(*Cichorium intybus*, *Onopordum acanthium*, *Convolvulus arvensis*) відображає певну збалансованість процесів антропогенної трансформації та збереження природних компонентів степового фітоценозу.

Флористичний склад збіднений, немає типових степових видів. Угрупування збагачують окремі представники родини Бобові (*Lotus corniculatus*), а також адвентивні види (*Cichorium intybus*, *Poa compressa*). У віковій структурі популяції переважають вегетативні та генеративні особини. Частка іматурних особин становить 17 %, ювенільних – незначна (2 %), що свідчить про ослаблене поновлення (рис. 5).

Локалітет № 3. Популяція приурочена до відкритих ділянок на південно-східному

схилі, де сформувалося лучно-степове угруповання з переважанням *Salvia nemorosa* L. (рис. 6). Проективне покриття цього виду сягало близько 60 %, що дає змогу розглядати його як домінант у складі ценозу. У структурі травостою також виявлено характерні ксерофітні та мезоксерофітні види: *Festuca* sp., *Bromus* sp., *Achillea millefolium* L., *Eryngium campestre* L., *Taraxacum serotinum*, *Artemisia absinthium* L., *Nonea pulla* L., *Verbascum phoeniceum* L. та ін. У межах деревного та чагарникового ярусів поодинокі траплялися екземпляри *Crataegus* sp. (висота до 2,2 м) та *Pyrus* sp. (до 2 м), що свідчить про мозаїчність фітоценозу й утворення перехідних форм між відкритим степом та узліссям.



Рис. 4. Локалітет № 2 *A. dasyanthus*: лучно-степовий схил із вторинною чагарниковою рослинністю

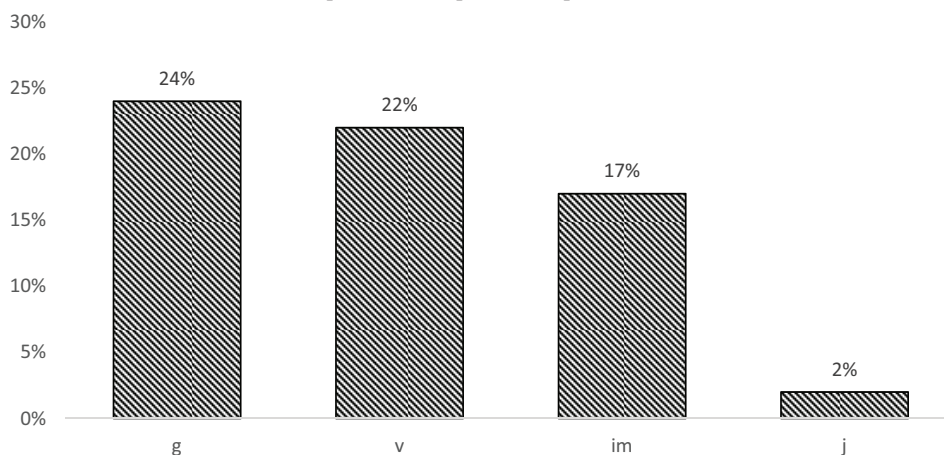


Рис. 5. Спектри онтогенетичних станів *A. dasyanthus* у локалітеті № 2 (g – генеративні, v – віргінільні, im – іматурні, j – ювенільні особини)

Спектри онтогенетичних станів популяції *A. dasyanthus* представлені трьома віковими групами, серед яких переважають дорослі генеративні особини (*g*) – 12 % від загальної чисельності (рис. 7). Частка віргінільних (*v*) – 2 % та іматурних (*im*) – 2 % особин є значно меншою; ювенільні особини (*j*) у межах облікових площ (1×1 м) не виявлені. Щільність популяції в окремих мікроділянках становила до 10 особин/м². У межах локалітету виявлено до 10 клонів, сформованих переважно з генеративно здатних рослин. Популяція повноцінна, з тенденцією до підтримання чисельності шляхом насінневого поновлення, однак із помірно репродуктивною активністю.

Висновки

Опрацьовано наукові видання та гербарні фонди, здійснено близько 10 експедиційних досліджень, що дало змогу уточнити особливості поширення *A. dasyanthus* в умовах Черкаської області. Встановлено 23 локалітети виду, з яких 3 – нові (с. Березняки Черкаського р-ну). Ці популяції приурочені до фрагментів лучно-степової рослинності на схилах залізничного насипу та є перспективними для довгострокового моніторингу.

Виявлено, що два локалітети втрачено: один повністю знищений (с. Кожарка, затоплене внаслідок створення водосховища), інші – ймовірно, зникли через трансформацію ландшафту, урбанізацію, розорювання та



Рис. 6. Локалітет № 3 *A. dasyanthus*: територія біля залізничного насипу поблизу с. Березняки Черкаського р-ну

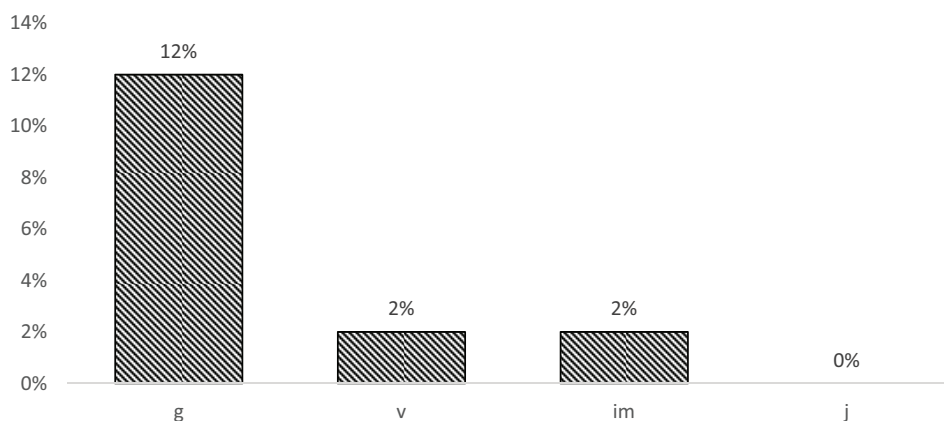


Рис. 7. Спектри онтогенетичних станів *A. dasyanthus* у локалітеті № 3 (*g* – генеративні, *v* – віргінільні, *im* – іматурні, *j* – ювенільні особини)

деградацію степових біотопів. Більшість локалітетів виду залишаються поза межами природоохоронних територій.

Задля поліпшення охоронних заходів щодо *A. dasyanthus* на території Черкаської області потрібно надати охоронний статус нововиявленим локалітетам, які мають значну фітосозологічну

цінність. Ревізія місцезнаходжень давніх знахідок за гербарними та літературними джерелами дасть змогу підтвердити їхню актуальність, а всебічне оцінювання стану популяцій сприятиме пошуку ефективних шляхів зі збереження та відтворення виду на проблемних територіях.

Список літератури

1. Дідух ЯП, редактор. Червона книга України. Рослинний світ. Київ: Глобалконсалтинг; 2009. 912 с.
2. Бондарчук ОП, Шиманська ОВ, Рахметова СО, Рахметов ДБ. До питання чисельності рідкісних та зникаючих рослин видів роду *Astragalus* L. флори України. У: Динаміка біологічного та ландшафтного різноманіття заповідних територій: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції; 25–27 травня 2016 р.; Кам'янець-Подільський. Кам'янець-Подільський: Рута; 2016. с. 18–21.
3. Василюк О, Куземко А, Спрягайло О, Спрягайло О, Чорна Г, Шевчик В, Ширяєва Д. 50 рідкісних рослин Черкащини. Атлас-довідник. Черкаси; 2018. 60 с.
4. Чиж ОВ. Сучасний стан популяцій *Astragalus dasyanthus* Pall. в умовах Черкаської області [Інтернет]. У: Подільські читання. Дослідження, охорона довкілля та збереження біотичного та ландшафтного різноманіття, природнича освіта: Збірник за матеріалами Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю (21–22 листоп. 2024 р., Кам'янець-Подільський). Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка; 2024. с. 294–7. Доступно на: <https://biolog.kpnu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/11/zbirnyk-podilski-chytannia-2024.pdf>
5. Управління екології та природних ресурсів Черкаської обласної державної адміністрації. Охорона та відтворення видів рослин та грибів, занесених до Червоної книги України, та тих, що підпадають під дію міжнародних договорів. У: Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Черкаській області у 2023 році. Черкаси: Управління екології та природних ресурсів; 2024. с. 64–6.
6. iNaturalist [Internet]. Available from: <https://www.inaturalist.org/> (accessed 2025 Jun 8).
7. Plants of the World Online [Internet]. Available from: <http://www.plantsoftheworldonline.org/> (accessed 2024 Nov 14).
8. Braun-Blanquet J. Pflanzensoziologie. Vienna – New York: Springer; 1964. 865 p.
9. Шевчик ВЛ, Бакалина ЛВ, Полішко ОД. Ценологічні та хорологічні особливості *Astragalus dasyanthus* Pall. на півночі Придніпровського Лісостепу та перспективи його збереження. Заповідна справа в Україні. 2006;12(2):17–21.
10. Мирза ВМ. Поширення астрагалу шерстистоквіткового (*Astragalus dasyanthus* Pall.) на Україні і в Молдавії, охорона і збагачення його запасів. Укр. ботан. журн. 1971;43(6):718–20.
11. Василюк ОВ, Куземко АА, Спрягайло ОА, Спрягайло ОВ, Чорна ГА, Шевчик ВЛ, Ширяєва ДВ. Знахідки рослин, занесених до Червоної книги України, в Черкаській області. У: Знахідки рослин і грибів Червоної книги та Бернської конвенції (Резолюція 6). Т. 1 (Серія: Conservation Biology in Ukraine. Вип. 11). Київ – Чернівці: Друк Арт; 2019. с. 142–53.
12. Конякін СМ. Знахідки раритетних видів рослин на території Черкаської і Київської областей. У: Знахідки рослин і грибів Червоної книги та Бернської конвенції (Резолюція 6). Т. 1 (Серія: Conservation Biology in Ukraine. Вип. 11). Київ – Чернівці: Друк Арт; 2019. с. 249–51.
13. Шевчик ВЛ. Знахідки рослин, занесених до Червоної книги України та Резолюції 6 Бернської конвенції, в угрупованнях середнього Придніпров'я та західного Полісся. У: Знахідки рослин і грибів Червоної книги та Бернської конвенції (Резолюція 6). Т. 1 (Серія: Conservation Biology in Ukraine. Вип. 11). Київ – Чернівці: Друк Арт; 2019. с. 441–7.
14. Гаврилюк МН. Знахідки рослин Червоної книги України у Центральній Україні. У: Знахідки видів рослин, тварин та грибів, що знаходяться під охороною, в Україні. (Серія: Conservation Biology in Ukraine. Вип. 19). Вінниця: ТВОРИ; 2020. с. 112–3.

References

1. Didukh YaP, editor. Red Data Book of Ukraine. Plant Kingdom. Kyiv: Globalconsulting; 2009. 912 p. Ukrainian.
2. Bondarchuk OP, Shymanska OV, Rakhmetova SO, Rakhmetov DB. On the abundance of rare and endangered species of the genus *Astragalus* L. in the flora of Ukraine. In: Dynamics of biological and landscape diversity of protected areas: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference; 2016, May 25–27, Kamianets-Podilskyi. Kamianets-Podilskyi: Ruta; 2016. p. 18–21. Ukrainian.
3. Vasyliuk O, Kuzemko A, Spryahaylo O, Spryahaylo O, Chorna H, Shevchyk V, Shyriaieva D. 50 rare plants of the Cherkasy region: atlas and reference book. Cherkasy; 2018. 60 p. Ukrainian.
4. Chyzh OV. Current state of *Astragalus dasyanthus* Pall. populations in the Cherkasy region [Internet]. In: Podilski Readings: Proceedings of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference with International Participation; 2024 Nov 21–22; Kamianets-Podilskyi. Kamianets-Podilskyi: KPU named after I. Ohienko; 2024. p. 294–7. Available from: <https://biolog.kpnu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/11/zbirnyk-podilski-chytannia-2024.pdf>. Ukrainian.
5. Department of Ecology and Natural Resources of the Cherkasy Regional State Administration. Protection and restoration of plant and fungi species listed in the Red Data Book of Ukraine and under international conventions. In: Regional Report on the State of the Environment in the Cherkasy Region in 2023. Cherkasy: Department of Ecology and Natural Resources; 2024. p. 64–6. Ukrainian.
6. iNaturalist [Internet]. Available from: <https://www.inaturalist.org/> (accessed 2025 Jun 8).
7. Plants of the World Online [Internet]. Available from: <http://www.plantsoftheworldonline.org/> (accessed 2024 Nov 14).
8. Braun-Blanquet J. Pflanzensoziologie. Vienna–New York: Springer; 1964. 865 p.
9. Shevchyk VL, Bakalina LV, Polishko OD. Coenotic and chorological features of *Astragalus dasyanthus* Pall. in the north of the Dnipro forest-steppe and prospects for its conservation. Nature Conservation in Ukraine. 2006;12(2):17–21. Ukrainian.
10. Myrza MV. Distribution of *Astragalus dasyanthus* in Ukraine and Moldova. Protection and enhancement of its resources. Ukr. Bot. J. 1971;28(6):718–20. Ukrainian.
11. Vasyliuk OV, Kuzemko AA, Spryahaylo OA, Spryahaylo OV, Chorna HA, Shevchyk VL, Shyriaieva DV. Records of Red Data Book plant species in the Cherkasy region. In: Records of Plants and Fungi of the Red Data Book and Bern Convention (Resolution 6). Vol. 1. Series: Conservation Biology in Ukraine. Issue 11. Kyiv – Chernivtsi: Druk Art; 2019. p. 142–53. Ukrainian.
12. Koniakin SM. Records of rare plant species in the Cherkasy and Kyiv regions. In: Records of Plants and Fungi of the Red Data Book and Bern Convention (Resolution 6). Vol. 1. Series: Conservation Biology in Ukraine. Issue 11. Kyiv – Chernivtsi: Druk Art; 2019. p. 249–51. Ukrainian.

13. Shevchyk VL. Records of plant species listed in the Red Data Book of Ukraine and Bern Convention Resolution 6 in the communities of Central Dnipro and Western Polissia. In: Records of Plants and Fungi of the Red Data Book and Bern Convention (Resolution 6). Vol. 1. Series: Conservation Biology in Ukraine. Issue 11. Kyiv – Chernivtsi: Druk Art; 2019. p. 441-7. Ukrainian.
14. Havryliuk MN. Records of Red Data Book plants in Central Ukraine. In: Records of Protected Plant, Animal and Fungi Species in Ukraine. Series: Conservation Biology in Ukraine. Issue 19. Vinnytsia: TVORY; 2020. p. 112-3. Ukrainian.

O. Chyzh

M. M. Gryshko National Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION AND POPULATION STATUS OF *ASTRAGALUS DASYANTHUS* PALL. IN THE CHERKASY REGION

Abstract

The article presents information about new findings of a rare species listed in the Red Data Book of Ukraine – *Astragalus dasyanthus* Pall. Based on the study of herbarium collections, literary sources, and our own expeditions, we have summarized data on its distribution in the Cherkasy Region. A detailed list of the species' localities by administrative districts of the region is provided. A new location was discovered near the village of Berezhnyaky in the Cherkasy District, near a railway embankment. The botanical and geographical characteristics of the localities, the species composition of the background vegetation, the size and condition of the population are given. The ecological and coenotic conditions in which the population grows are described, and the age groups of individuals are classified. An assessment of the anthropogenic impact on the community was made. The study is based on the processing of more than 150 herbarium sheets (including about 20 related to the Cherkasy Region) from leading scientific institutions in Ukraine (KW, KWNA, KWU, PW), as well as on the results of our own field surveys with GPS fixation of localities in 2024–2025. Mapping was performed using Google Earth Pro, and data on new populations were entered into the iNaturalist social network. The historical and modern administrative division of the region was used for accurate interpretation of data on the distribution of *Astragalus dasyanthus*. A total of 23 localities of the species were identified, three of which are newly discovered, in particular in the village of Berezhnyaky, Cherkasy District. Geobotanical descriptions and analysis of the ontogenetic spectra of populations were carried out. The finding expands the data on the current range of the species in Ukraine and is important for the formation of recommendations for its protection, especially in the context of ongoing transformation of natural ecosystems. Thus, the results obtained emphasize the need to grant conservation status to the discovered populations and to introduce regional monitoring. Additionally, attention is drawn to the fact that for effective conservation of the species, it is necessary to periodically monitor the status of its populations. It is recommended to develop and implement local conservation plans, involve the public, and inform the population about the importance of this rare species. It is also important to ensure the support of existing biotopes and prevent their degradation, especially in the steppe and meadow-steppe zones of the Cherkasy Region.

Keywords: *Astragalus dasyanthus*, Red Data Book of Ukraine, location, locality, steppe ecosystems, conservation.

ARTICLE HISTORY. Submitted 22 May 2025. Accepted 23 June 2025. Published 18 August 2025

Відомості про автора Author Information

Чиж Ольга Василівна – аспірантка Національного ботанічного саду імені М. М. Гришка НАН України, Київ, Україна

Chyzh Olha – PhD student of M. M. Gryshko National Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0009-0006-0996-5986>

olyachyzh037@gmail.com



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

DOI: 10.18523/2617-4529.2025.8.98-107

УДК 582.573.16:581.543(477.63)

Чипиляк Т. Ф., Ахмедова В. В.

Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України, Кривий Ріг, Україна

ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ ОКРЕМИХ ВИДІВ ЦИБУЛИННИХ У КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ СТЕПОВОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ (НА ПРИКЛАДІ КРИВОРІЗЖЯ)

Визначено еколого-біологічні особливості розвитку видів родин *Asparagaceae* (*Camassia leichtlinii*, *Hyacinthoides hispanica*, *Muscari heldreichii*, *Scilla litardieri*, *S. sardensis*); *Iridaceae* (*Crocus tauricus*, *C. tommasinianus*, *Juno bucharica*); *Liliaceae* (*Tulipa neustruevae*, *T. turkestanica*, *T. urumiensis*) в умовах степової зони України. Дослідження проведено на колекціях Криворізького ботанічного саду НАН України. Кліматичні умови характерні для степової зони: нестача вологи в повітрі і ґрунті, високі літні температури повітря. Річна сума опадів становить 350–450 мм, з дефіцитом зволоження влітку. Опрацьовано матеріал за 2017–2024 рр., визначали початок квітнування та загальну його тривалість.

Отримані результати доводять, що за інтродукції в Криворізжя відбуваються зміни в генеративному розвитку рослин. Протягом 2017–2024 рр. зафіксовано стабілізацію терміну початку квітнування, що підтверджено зменшенням меж варіювання цього показника: у 2017–2020 рр. межі становили ± 11 – 18 діб, у 2021–2024 рр. – ± 6 – 10 діб. Фаза цвітіння в більшості видів проходить у квітні – найбільш кліматично сприятливий час. Такі результати також підтверджуються величиною середньодобової температури повітря на початок цвітіння рослин: на початкових етапах інтродукції вона варіювала від $2,5$ °C до 22 °C. Упродовж останніх років *Tulipa turkestanica*, *T. neustruevae*, *T. urumiensis* починали квітнути за температури 10 – 18 °C; *Crocus tauricus* і *C. tommasinianus* – за 4 – 7 °C, *Juno bucharica* – за 8 – 13 °C; *Hyacinthoides hispanica*, *Scilla sardensis*, *Muscari heldreichii* – за 7 – 15 °C, *Scilla litardieri*, *Camassia leichtlinii* – за 15 – 20 °C. Середня тривалість цвітіння видів у кліматичних умовах Криворізжя не перевищує 12 – 15 діб незалежно від родової належності. Найдовше (до 20 діб) у наших умовах квітнуть рослини *Camassia leichtlinii* (вид доволі широкої екологічної пластичності) та *Juno bucharica*, у якого кліматичні умови в первинному ареалі схожі з такими в центрі інтродукції. Незважаючи на короткотривале квітнування, за умови використання широкого асортименту видів, сортів і форм досліджених родів можливо створити декоративний ефект і прикрасити міські ландшафти в степових умовах України впродовж двох місяців – з середини березня до III декади травня.

Ключові слова: цибулинні рослини, ритми розвитку, початок квітнування, тривалість квітнування.

Вступ

Розвиток ландшафтного будівництва, міського озеленення був би неможливий без науково-практичної діяльності із введення в культуру найбільш витривалих і декоративних видів, сортів та форм рослин у певному природно-кліматичному регіоні, що, своєю чергою, сприяє розв'язанню багатьох практичних завдань з оптимізації антропогенних ландшафтів [1].

Цими питаннями займаються ботанічні сади, і саме інтродукція рослин є одним із найважливіших наукових напрямів їхньої роботи, що має вирішальне значення в збагаченні фіторізноманіття на глобальному і регіональному рівнях. Впровадження нових видів рослин передбачає дослідження їхніх біологічних особливостей, оцінювання декоративних якостей та рівня життєздатності в конкретних ґрунтово-кліматичних

умовах. Результати досліджень дають змогу виявити рівень пристосованості рослин до умов вибраної кліматичної зони. Адже відомо, що рослини є індикаторами кліматичних умов існування [2,3,4], тому одним із важливих біологічних досліджень є визначення циклічності біоритмів розвитку на тлі кліматичних змін, які стали особливо помітними в степовій зоні України і виявляються в значних підвищеннях температур і дефіциті опадів [5].

Саме в цій географічній зоні розташований промисловий регіон Криворіжжя, центром якого є велике місто Кривий Ріг, де умови для росту й розвитку рослин значно відрізняються від природних, а в останні десятиліття зафіксовано зміни в термінах і тривалості сезонних фаз розвитку окремих видів і культур квітково-декоративних рослин [6,7]. Такі зміни призводять до появи негативних тенденцій на території міських ландшафтів: знижується життєвий рівень рослин і їхніх декоративних показників, відбувається зміщення термінів квітання та їхньої тривалості. Тож сучасне місто потребує розроблення еколого-компенсаційних заходів для повноцінного функціонування культурфітоценозів, а також їхньої декоративної привабливості впродовж усього року [8].

Першими квітники прикрашають ранньоквітучі весняні рослини, переважна більшість яких є цибулинними (крокуси, гіацинти, тюльпани, нарциси тощо), але через вплив кліматичних змін у рослин змінюється динаміка ростових процесів, що сприяє зменшенню несприятливого впливу зовнішніх чинників. Досліджень ритмів

сезонного розвитку таких видів в умовах Криворіжжя досі не проводили, тож, з огляду на зазначене вище, **метою цього дослідження** є визначення еколого-біологічних особливостей розвитку видів родин Asparagaceae Juss., Iridaceae Juss. та Liliaceae Juss. в умовах степової зони України (на прикладі Криворіжжя).

Об'єкти і методи дослідження

Об'єктами дослідження є рослини видів родини Asparagaceae Juss. – *Camassia leichtlinii* (Baker) S. Watson, *Hyacinthoides hispanica* (Mill.) Rothm., *Muscari heldreichii* Boissier, *Scilla litardieri* Breistr. (*Scilla pratensis* Waldst. & Kit.), *Scilla sardensis* Whittall ex Barr & Sugden (*Chionodoxa sardensis* Whittall ex Barr & Sugden), родини Iridaceae Juss. – *Crocus tauricus* (Trautv.) Puring (*Crocus adamii* auct. non J. Gay, *Crocus biflorus* auct. non Mill.), *Crocus tommasinianus* Herb. (*Crocus serbicus* A. Kern. ex Maw), *Juno bucharica* (Foster) Vved. та родини Liliaceae Juss. – *Tulipa neustruevae* Pobed. (*Tulipa dasystemonoides* Vved.), *Tulipa turkestanica* (Regel) Regel, *Tulipa urumiensis* Stapf. (*Tulipa tarda* Stapf.).

Спостереження проводили на колекційних ділянках Криворізького ботанічного саду Національної академії наук України (далі – КБС), де кліматичні умови є характерними для степової зони, а саме: нестача вологи в повітрі і ґрунті, високі літні температури повітря (до +36,7–38,1 °C), часті суховії. Річна сума опадів становить 350–450 мм, а протягом літніх місяців спостерігається дефіцит балансу зволоження: за вегетаційний період випадає лише 100–150 мм опадів [9].

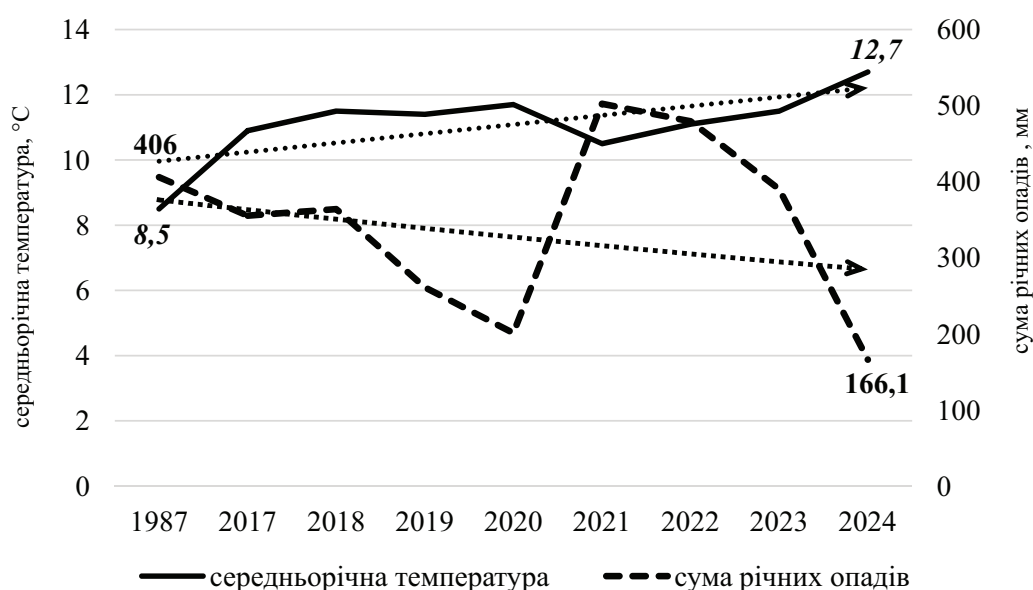


Рис. 1. Кліматичні показники в умовах Криворізького ботанічного саду НАН України протягом 2017–2024 рр.

Протягом восьми років досліджень кліматичні умови також були складними, зафіксовано підвищення середньої річної температури повітря та зменшення суми річних опадів (рис. 1) [10].

Опрацьовано матеріал щодо проходження окремих фаз генеративного розвитку протягом останніх восьми років дослідження (2017–2024 рр.) – початок квіткування та загальна його тривалість [11]. Статистичну обробку даних проводили методами параметричної статистики [12]. Статистичну достовірність різниці між середніми значеннями у вибірках було встановлено на рівні $p < 0,05$, з обрахуванням дисперсії та критерію Стьюдента.

Результати дослідження та їх обговорення

Для введення в культуру певного виду рослин потрібно дослідити біогеографію виду шляхом оцінювання його автохтонного ареалу, адже успішність інтродукції залежить від того, наскільки широка екологічна амплітуда притаманна виду [1]. Проведений інформаційний аналіз показав, що первинні ареали видів роду *Tulipa* L. та *Juno bucharica* розташовані в Азії (табл. 1), а кліматичні параметри цих територій наближені до таких у степовій зоні України [13–15]. Досліджувані нами представники родин Asparagaceae та Iridaceae (*Hyacinthoides hispanica*, *Muscari heldreichii*,

Scilla litardieri, *S. sardensis*, *Crocus tauricus*, *C. tommasinianus*) переважно походять із Європи, де трапляються в лісах, на тінистих схилах пагорбів і потребують доволі значного рівня опадів. Це вказує на доволі вузьку екологічну валентність цих видів [16–19]. Первинний ареал *Camassia leichtlinii* розташований у західній частині Північної Америки, а кліматичні умови територій, де трапляється вид, є доволі різноманітними [20]. Попередньо такі дані вказують на те, що для переважної більшості досліджуваних нами видів характерна неширока екологічна пластичність, але види роду *Tulipa* L. та *Juno bucharica* в природі зростають в умовах високих літніх температур та низького рівня вологозабезпечення, що характерно й для степової зони України, де було проведено дослідження. Види також відрізняються за декоративними показниками та термінами квіткування (табл. 1), тому в процесі створення нових квіткових композицій на це потрібно зважати.

Під час дослідження сезонних ритмів розвитку основну увагу приділяли квітванню видів – початок і тривалість періоду декоративного ефекту, який здатні відтворити інтродуценти в умовах Криворіжжя. Аналіз отриманих результатів показав, що представники родини Asparagaceae найсильніше потерпали в наших кліматичних умовах.

Таблиця 1

Опис видів родин Asparagaceae Juss., Iridaceae Juss. та Liliaceae Juss., інтродукованих у Криворізький ботанічний сад НАН України

Об'єкти дослідження	Первинний ареал, кліматичні умови в ареалі (температура повітря взимку / влітку, сума річних опадів, мм)	Термін квіткування / тривалість	Декоративні показники
1	2	3	4
<i>Camassia leichtlinii</i> (Baker) S. Watson	Британська Колумбія зима: від +1 °C до +6,5 °C; літо: +12–21 °C; 1100 мм Штат Орегон зима: від +1,5 °C до +8,5 °C; літо: +13–27 °C; 1200 мм Штат Вашингтон зима: від -1 °C до +8 °C; літо: +25–31 °C; 850 мм Штат Каліфорнія зима: від +2,5 °C до +15 °C; літо: +19–35 °C; 300 мм	середина квітня – травень до червня / 30–40 днів	квітки білі, кремові, h рослин = 60–120 см
<i>Hyacinthoides hispanica</i> (Mill.) Rothm.	Португалія зима: від +14 °C до +18 °C; літо: +20–23 °C; 1200 мм Гібралтар зима: від +9 °C до +14,5 °C; літо: +19–28 °C; 800 мм Іспанія зима: від +4 °C до +12 °C; літо: +19–26 °C; 1200 мм	середина березня – початок травня / до 30 днів	квітки ніжно-бузкові, h рослин = 15–50 см
<i>Muscari heldreichii</i> Boissier	Греція зима: від +5,5 °C до +11 °C; літо: +20–31 °C; 700 мм	середина березня – квітень / 25–30 днів	квітки яскраво-сині, або фіолетові, h рослин = 15 см

Продовження табл. 1

Об'єкти дослідження	Первинний ареал, кліматичні умови в ареалі (температура повітря взимку / влітку, сума річних опадів, мм)	Термін квітнування / тривалість	Декоративні показники
1	2	3	4
<i>Scilla litardieri</i> Breistr.	Греція зима: від +5,5 °C до +11 °C; літо: +20–31 °C; 700 мм Німеччина зима: від -2 °C до +3,5 °C; літо: +13–24 °C; 500–800 мм Хорватія зима: від +4 °C до +13 °C; літо: +18–28 °C; 1180 мм Словенія зима: від -2,5 °C до +4,5 °C; літо: +15,5–24 °C; 800–1200 мм	початок травня / 30 днів	квітки яскраво-сині або фіолетові, h рослин = 25–30 см
<i>Scilla sardensis</i> Whittall ex Barr & Sugden	Туреччина зима: від +5 °C до +8 °C; літо: +20–29 °C; 600–1200 мм	кінець березня – початок квітня / до 30 днів	квітки від ніжно-синіх до фіолетово-синіх, h рослин = 8–12 см
<i>Crocus tauricus</i> (Trautv.) Puring	Болгарія зима: від -4 °C до +4,5 °C; літо: +14–24 °C; 650 мм Угорщина зима: від -4 °C до +4,5 °C; літо: +16–27 °C; 500–900 мм Албанія зима: від +3 °C до +13 °C; літо: +16–30 °C; 1100 мм	кінець лютого – початок квітня / до 35 днів	квітки ніжно-фіолетові, h рослин = 10–15 см
<i>Crocus tommasinianus</i> Herb.	Болгарія зима: від -7 °C до +4 °C; літо: +20–25 °C; 730 мм Угорщина зима: від -1 °C до -5 °C; літо: +17–19 °C; 450–900 мм Албанія зима: від -8 °C до +9 °C; літо: +24–25 °C; 800–2000 мм	лютий – березень / до 30 днів	квітки ніжно-фіолетові, h рослин = 7–8 см
<i>Juno bucharica</i> (Foster) Vved.	Афганістан зима: від -7 °C до +5 °C; літо: +17–30 °C; 300 мм Таджикистан зима: від -7 °C до +6,5 °C; літо: +13–30 °C; 300 мм Узбекистан зима: від -4 °C до +7 °C; літо: +18–33 °C; 200–300 мм	квітень – травень / 15 днів	квітки світло- або темно-жовті, h рослин = 20–40 см
<i>Tulipa neustruevae</i> Pobed.	Узбекистан зима: від -4 °C до +7 °C; літо: +18–33 °C; 200–300 мм Таджикистан зима: від -7 °C до +6,5 °C; літо: +13–30 °C; 300 мм Казахстан зима: від -9 °C до -2 °C; літо: +11–23 °C; 100–500 мм Киргизстан зима: від -6 °C до +5,5 °C; літо: +14–29 °C; 180–600 мм	березень – квітень / до 30 днів	квітки ніжно-жовті, h рослин = 10 см
<i>Tulipa turkestanica</i> (Regel) Regel	Іран зима: від +3 °C до +8 °C; літо: +23–33 °C; 275 мм Узбекистан, Таджикистан, Казахстан, Киргизстан (див. вище)	початок березня / до 30 днів	квітки білі з жовтим центром, h рослин = 15 см
<i>Tulipa urumiensis</i> Stapf	Північно-західний Іран зима: від +7,8 °C до -3,6 °C; літо: +28–36 °C; 250 мм Північний Азербайджан зима: від +3,6 °C до +9 °C; літо: +20–29 °C; 300–600 мм	квітень – травень / 25 днів	квітки жовті, листя з облямівкою, h рослин = 10 см

Hyacinthoides hispanica не квітнув у 2018, 2019 та 2021 рр., *Scilla litardieri* та *S. sardensis* у 2018 та 2020 рр. (табл. 2), що, на нашу думку, зумовлено посушливим літнім періодом попереднього року – часом закладання генеративних бруньок. Для термінів початку квітання характерне значне різноманіття, особливо перші чотири роки (2017–2020) спостережень – від останньої декади березня (*Crocus tauricus*, *C. tommasinianus*, *Tulipa neustruevae*) до початку травня (*Camassia leichtlinii*). Треба зазначити, що і межі варіювання дати початку квітання в половини досліджуваних видів були доволі широкими – ± 11 –18 діб. У наступні чотири роки (2021–2024) у II–III декадах березня починали квітати *Crocus tauricus*, *C. tommasinianus*, у II декаді травня – *Camassia leichtlinii* та *Scilla litardieri*, тоді як усі інші види – протягом квітня. До того ж межі варіювання початку квітання зменшилися до ± 6 –10 діб, що може вказувати на адаптивні зміни, які відбуваються в умовах інтродукції в переважної кількості видів.

В умовах КБС види починали цвітіння за різноманітних температурних показників: середньодобова температура повітря була 2,5–22 °C (рис. 2), але аналіз даних показав, що протягом 2017–2024 рр. цей параметр змінювався. Для виявлення тенденцій розвитку процесу використано показник достовірності апроксимації (R^2). Показник не досягав значень, які вказували б на достовірність змін температурного параметра, але функція збільшувалася (родина Asparagaceae) або ж зменшувалася (*Crocus tauricus*, *C. tommasinianus*) у приблизній постійності. У *Scilla litardieri* визначено найвищі значення (0,52), і лінія тренду свідчить, що останнім часом цвітіння виду починалося за вищих температур повітря. Види родини Iridaceae (початкові температури 4–16 °C) по-різному реагували на умови інтродукції: рослини *Crocus tauricus* і *C. tommasinianus* в останні роки починають квітати за нижчих температур, тоді як *Juno bucharica* – за значно вищих. Найбільше різнилися результати рослин видів родини Asparagaceae: початкові температури були 3–25 °C.

Таблиця 2

Терміни початку квітання видів родин Asparagaceae Juss., Iridaceae Juss. та Liliaceae Juss. в умовах Криворізького ботанічного саду НАН України протягом 2017–2024 рр.

Вид	Роки досліджень									
	2017	2018	2019	2020	2017–2020 M $\pm$ m	2021	2022	2023	2024	2021–2024 M $\pm$ m
Asparagaceae Juss.										
<i>Camassia leichtlinii</i> (Baker) S. Watson	–	10.05	8.05	28.04	3.05 $\pm$ 5,0	20.05	8.05	17.05	29.04	10.05 $\pm$ 10,0
<i>Hyacinthoides hispanica</i> (Mill.) Rothm.	11.05	–	–	6.05	9.05 $\pm$ 3,0	–	15.04	20.04	27.04	21.04 $\pm$ 6,0
<i>Muscari heldreichii</i> Boissier	20.04	20.04	22.04	8.04	15.04 $\pm$ 7,0	25.04	20.04	10.04	11.04	17.04 $\pm$ 7,0
<i>Scilla litardieri</i> Breistr.	7.05	–	8.05	1.04	19.04 $\pm$ 18,0	18.05	15.05	13.05	20.05	17.05 $\pm$ 4,0
<i>Scilla sardensis</i> Whittall ex Barr & Sugden	21.03	8.04	25.03	–	30.03 $\pm$ 9,0	6.04	17.04	10.04	20.04	13.04 $\pm$ 7,0
Iridaceae Juss.										
<i>Crocus tommasinianus</i> Herb.	17.03	1.04	18.03	9.03	21.03 $\pm$ 12,0	22.03	12.03	15.03	10.03	16.03 $\pm$ 6,0
<i>Crocus tauricus</i> (Trautv.) Puring	22.03	3.04	25.03	19.03	23.03 $\pm$ 15,0	30.03	15.03	11.03	20.03	20.03 $\pm$ 9,5
<i>Juno bucharica</i> (Foster) Vved.	20.04	20.04	20.04	20.03	5.04 $\pm$ 15,0	25.04	18.04	15.04	8.04	16.04 $\pm$ 8,5
Liliaceae Juss.										
<i>Tulipa urumiensis</i> Stapf	20.04	19.04	22.04	20.04	17.04 $\pm$ 2,0	27.04	15.04	17.04	5.04	16.04 $\pm$ 11,0
<i>Tulipa neustruevae</i> Pobed.	24.03	5.04	4.04	13.03	23.03 $\pm$ 11,0	12.04	25.03	27.03	1.04	3.04 $\pm$ 9,0
<i>Tulipa turkestanica</i> (Regel) Regel	4.04	13.04	12.04	20.03	1.04 $\pm$ 11,0	15.04	25.03	27.03	10.04	5.04 $\pm$ 10,0

Але останні роки *Scilla litardieri*, *Camassia leichtlinii* та *Hyacinthoides hispanica* починають цвітіння за значно вищої температури, тоді як для рослин *Scilla sardensis* показник незначно, але зменшувався.

Визначення тривалості квітучості показало, що досліджені види цибулиних рослин в умовах Криворіжжя цвітуть майже вдвічі менше днів, ніж у природних ареалах. За середніми показниками декоративний ефект триває 12–15 діб незалежно від родової належності (рис. 3).

Найдовше в наших умовах квітуть рослини *Camassia leichtlinii* (16–19 діб) та *Juno bucharica* – 17–20 діб. Упродовж восьми років

досліджень достовірних відмінностей у тривалості фази не виявлено. Загалом, за результатами досліджень з'ясовано, що в умовах Криворіжжя у II–III декадах березня ніжно-фіолетовими плямами квітники можуть прикрасити рослини *Crocus tauricus* і *C. tommasinianus*, протягом I–II декад квітня утворюють яскраві жовті куртини *Tulipa turkestanica*, *T. neustruevae* та *T. urumiensis*, а рослини *Hyacinthoides hispanica*, *Muscari heldreichii*, *Scilla sardensis* та *Juno bucharica* в другій половині квітня додадуть краси ландшафтам темно-синіми і біло-жовтими барвами. І вже впродовж I–II декад травня розцвітуть рослини *Scilla litardieri* і *Camassia leichtlinii*.

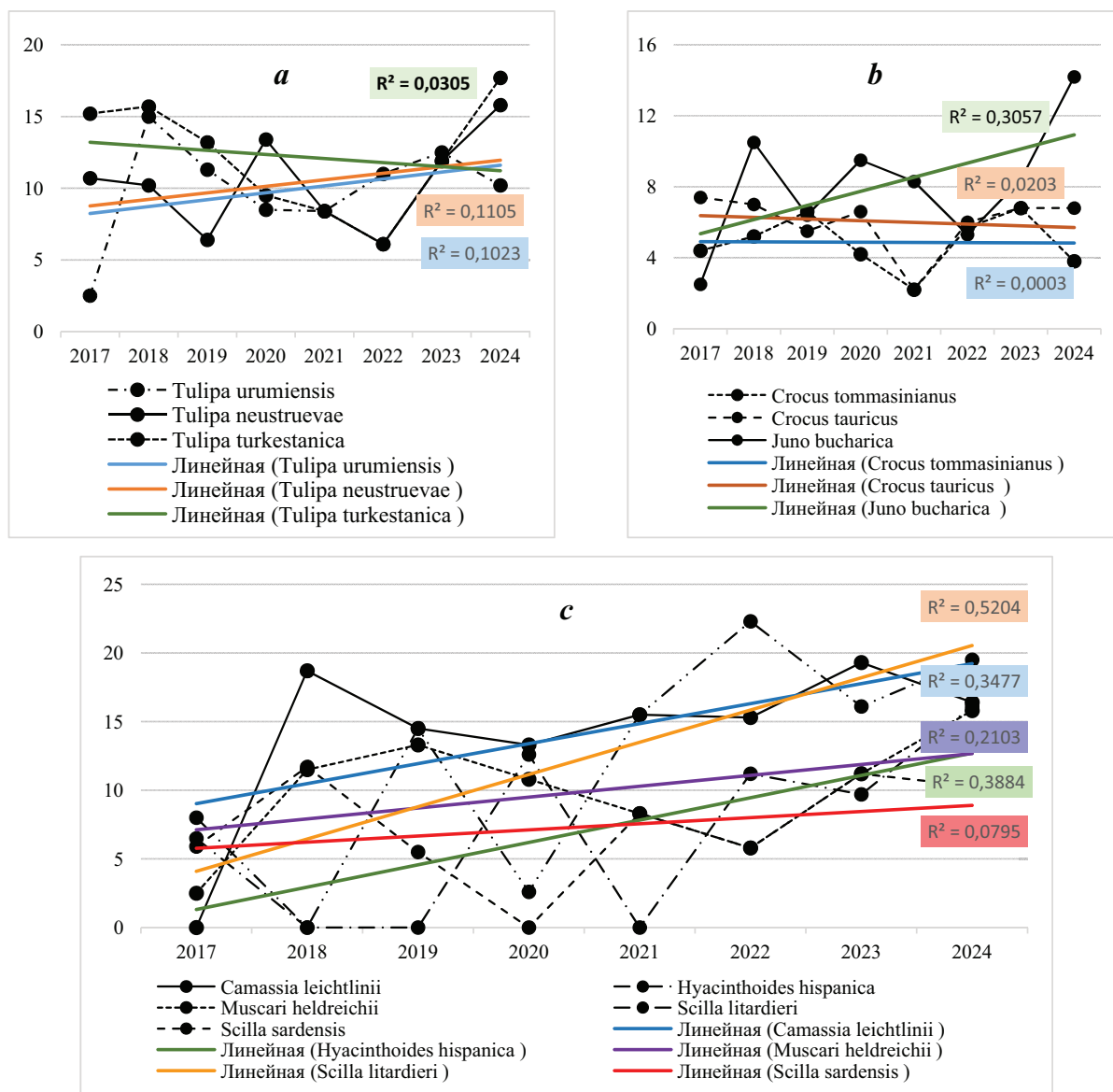


Рис. 2. Температура повітря на початок цвітіння видів родин Liliaceae Juss. (a), Iridaceae Juss. (b) та Asparagus Juss. (c) в умовах Криворізького ботанічного саду НАН України впродовж 2017–2024 рр. (°C)
Примітка. Нульові показники виставлено в роки, коли цвітіння не було

Висновки

Отримані результати дослідження ритмів сезонного розвитку окремих видів родин Asparagaceae, Iridaceae та Liliaceae доводять, що в кліматичних умовах степової зони України, за інтродукції в Криворіжжя, відбуваються зміни в генеративному розвитку рослин. Протягом 2017–2024 рр. у переважної більшості видів зафіксовано стабілізацію терміну початку квітування, що підтверджено зменшенням меж варіювання цього показника: перші чотири роки – ± 11 –18 діб, наступні

чотири роки – ± 6 –10 діб. Фаза цвітіння переважно проходить у найбільш кліматично сприятливий час – у наших умовах це квітень, для якого характерні невисокі температури повітря і більша кількість опадів. Такі результати також підтверджуються значеннями середньодобової температури повітря на початок цвітіння рослин: на початкових етапах інтродукції вона варіювала від 2,5 °С до 22 °С. Упродовж останніх років (2021–2024) представники родини Liliaceae (*Tulipa turkestanica*, *T. neustruevae*, *T. urumiensis*) починали квітнути

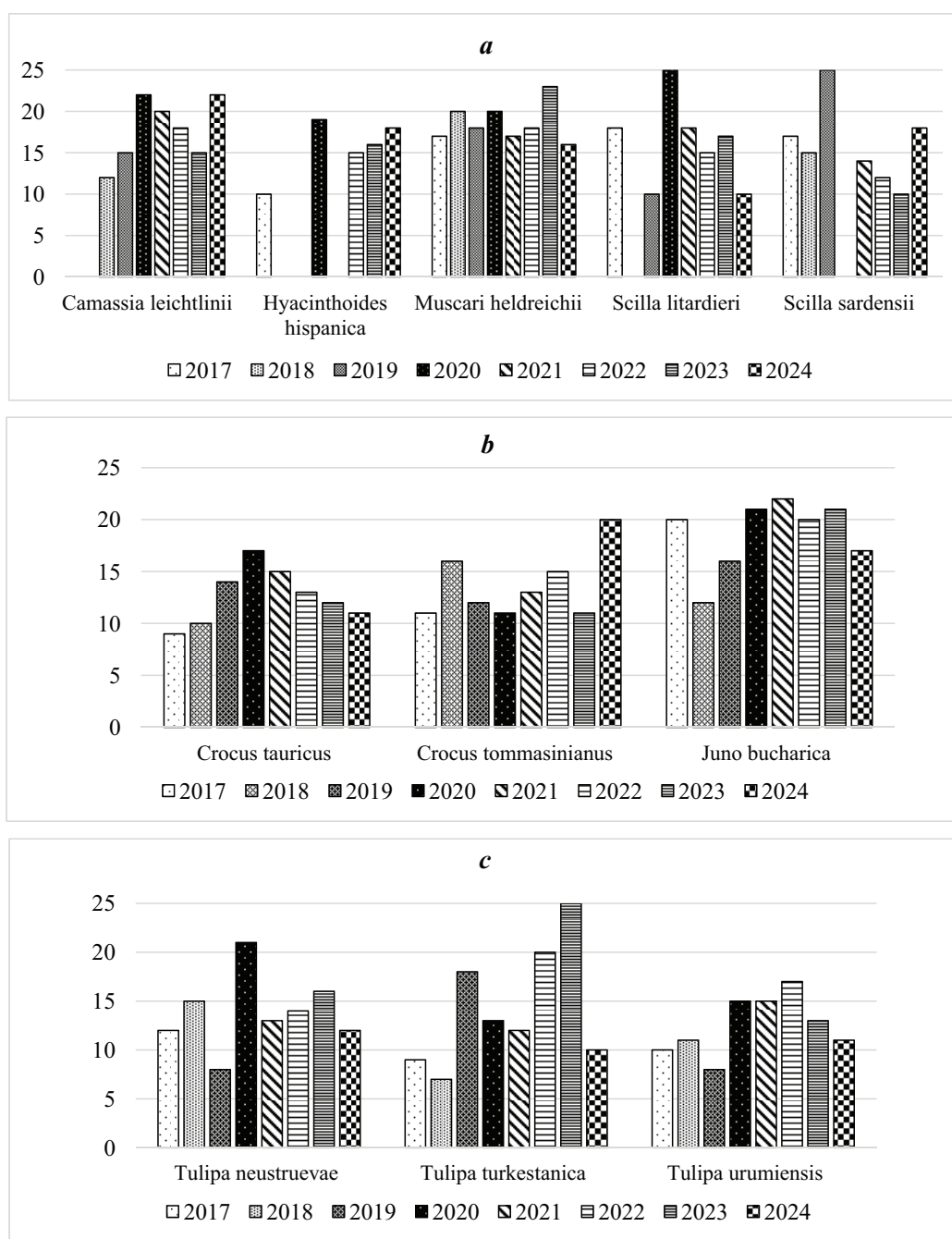


Рис. 3. Тривалість квітування видів родин Asparagaceae Juss. (a), Iridaceae Juss. (b) та Liliaceae Juss. (c) в інтродукції в Криворізький ботанічний сад НАН України протягом 2017–2024 рр. (днів)
Примітка. Якщо стовпчиків немає, це вказує на те, що у визначеному році цвітіння не було

за температури 10–18 °C; види родини Iridaceae: *Crocus tauricus* і *C. tommasinianus* – 4–7 °C, *Juno bucharica* – 8–13 °C; види родини Asparagaceae: *Hyacinthoides hispanica*, *Scilla sardensis*, *Muscari heldreichii* – 7–15 °C, *Scilla litardieri*, *Camassia leichtlinii* – 15–20 °C. На нашу думку, це вказує на адаптивні зміни, що сприяли підвищенню життєздатності рослин у спекотних та посушливих умовах степової України. Середня тривалість цвітіння видів у кліматичних умовах Криворіжжя не перевищує 12–15 днів незалежно від родової належності. Найдовше (до 20 днів) у наших умовах квітнуть рослини *Camassia leichtlinii* (вид доволі широкої

екологічної пластичності) та *Juno bucharica* (кліматичні умови природного зростання схожі з такими в центрі інтродукції). Незважаючи на короткотривале квітання, за умови використання широкого асортименту видів, сортів і форм цих родів можливо створити декоративний ефект і прикрасити міські ландшафти в степових умовах України впродовж двох місяців – з середини березня до III декади травня. Завдяки використанню цибулиних рослин є можливість значно поповнити асортимент квітково-декоративних рослин ранньовесняного квітання та зменшити витрати на догляд за квітниками протягом сезону.

Список літератури

1. Рахметов ДБ. Теоретичні та прикладні аспекти інтродукції рослин в Україні. Київ: Аграр Медіа Груп; 2011. 398 с.
2. Chuine I. Why does phenology drive species distribution? *Philos Trans R Soc B*. 2010;365:3149–60. doi:10.1098/rstb.2010.0142
3. Menzel A, Sparks TH, Estrella N, Koch E, Aasa A, Ahas R, et al. European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Glob Change Biol*. 2006;12:1969–76. doi:10.1111/j.1365-2486.2006.01193.x
4. Bahuguna RN, Jagadish KS. Temperature regulation of plant phenological development. *Environmental and Experimental Botany* 2015;111:83–90. doi:10.1016/j.envexpbot.2014.10.007
5. Іванюта СП, Коломієць ОО, Малиновська ОА, Якушенко ЛМ. Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації: аналітична доповідь. За ред. Іванюти СП. Київ: НІСД; 2020. 110 с.
6. Приходько ММ. Екологічна безпека природних і антропогенно модифікованих геосистем: монографія. Київ: Центр екологічної освіти та інформації; 2013. 201 с.
7. Чипиляк ТФ, Зубровська ОМ, Шоль ГН. Рослини в урбо-техногенному середовищі степової зони України. Київ: Талком; 2022. 390 с.
8. Голубець МА. Вступ до геосоціосистемології. Львів: Поллі; 2005. 199 с.
9. Паранько ІС, Казаков ВЛ, Калініченко ОО, Коцюрба ВВ, Остапчук ІО, Савосько ВМ, Шипунова ВО, Ярков СВ. Фізична географія Криворіжжя: монографічна навчальна книга. Кривий Ріг: Вид. ПА Козлов; 2015. 272 с.
10. Архів погоди: аеропорт м. Кривий Ріг [Інтернет] [цитовано 2024 Груд. 20]. Доступно на: <https://www.meteoblue.com/uk/weather/forecast/week>
11. Nordt B, Hensen I, Bucher SF, Freiberg M, Primack RB, Stevens AD, et al. The PhenObs initiative: A standardised protocol for monitoring phenological responses to climate change using herbaceous plant species in botanical gardens. *Funct Ecol*. 2021;35:821–34. doi:10.1111/1365-2435.13747
12. Прилуцький ЮІ, Ільченко ОВ, Цимбалюк ОВ, Костерін СО. Статистичні методи в біології. Київ: Наукова думка; 2017. 216 с.
13. Christenhusz MJM, Govaerts A, Zonneveld BJM, Rumsey FJ, Fay MF. Tiptoe through the tulips – cultural history, molecular phylogenetics and classification of *Tulipa* (Liliaceae). *Bot J Linn Soc*. 2013;172(3):280–328. doi:10.1111/boj.12061
14. Dekhkonov D, Tojibaev K, Yusupov Z, Makhmudjanov D, Asatulloev T. Morphology of tulips (*Tulipa*, Liliaceae) in its primary centre of diversity. *Plant Divers Cent Asia*. 2022;1:52–70. doi:10.54981/PCDA/vol1_iss1/a1
15. Crespo MB, Martínez-Azorín M, Mavrodiev EV. Notes on taxonomy and nomenclature of *Juno* irises (*Juno*, Iridaceae). *Phytotaxa*. 2018;376:185–90. doi:10.11646/phytotaxa.387.4.4
16. Nowińska R, Czarna A. Naturalization of the ornamental plant *Crocus tommasinianus* Herb. (Iridaceae) in forest ecosystems: A case study from Poland. *Forests*. 2024;15:1851. doi:10.3390/f15111851
17. Yildirim H, Yetsen K, Özdemir A, Özdemir C. An anatomical study of *Scilla* (Scilloideae) section *Chionodoxa* and *Scilla bifolia* in Turkey. *Planta Daninha*. 2017;35:1–11. doi:10.1590/s0100-83582017350100004
18. Johnson R, Marshall C. Invasive plant alert: Spanish bluebells, *Hyacinthoides hispanica* (Mill.) Rothm. National Park Service, National Capital Region Exotic Plant Management Team; 2012.
19. Çitak BY, Dural H, Uysal T. Comparative anatomical and morphological studies on six *Muscari* species (Asparagaceae). *Biol Divers Conserv*. 2019;12(2):141–50. doi:10.5505/biodicon.2019.92408
20. Missouri Botanical Garden. [*Camassia leichtlinii*] [Internet]. Available from: <https://www.missouribotanicalgarden.org/PlantFinder/PlantFinderDetails.aspx?kempercode=q550>. Accessed 9 Apr 2025.

References

1. Rakhmetov DB. Theoretical and applied aspects of plant introduction in Ukraine. Kyiv: Agrar Media Group; 2011. 398 p. Ukrainian.
2. Chuine I. Why does phenology drive species distribution? *Philos Trans R Soc B*. 2010;365:3149–60. doi:10.1098/rstb.2010.0142
3. Menzel A, Sparks TH, Estrella N, Koch E, Aasa A, Ahas R, et al. European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Glob Change Biol*. 2006;12:1969–76. doi:10.1111/j.1365-2486.2006.01193.x
4. Bahuguna RN, Jagadish KS. Temperature regulation of plant phenological development. *Environmental and Experimental Botany* 2015;111:83–90. doi:10.1016/j.envexpbot.2014.10.007
5. Ivanyuta SP, Kolomyiets OO, Malinivska OA, Yakushenko LM. Climate change: consequences and adaptation measures: analytical report. Ed. Ivanyuta SP. Kyiv: NISD; 2020. 110 p. Ukrainian.
6. Prykhodko MM. Ecological safety of natural and anthropogenically modified geosystems: monograph. Kyiv: Center for Environmental Education and Information; 2013. 201 p. Ukrainian.
7. Chipilyak TF, Zubrovskaya OM, Shol GN. Plants in the urban-technical environment of the steppe zone of Ukraine. Kyiv: Talcom; 2022. 390 p. Ukrainian.
8. Holubets MA. Introduction to geosociology. Lviv: Polli; 2005. 199 p. Ukrainian.
9. Paranko IS, Kazakov VL, Kalinichenko OO, Kotsyuruba VV, Ostapchuk IO, Savosko VM, Shipunova VO, Yarkov SV. Physical geography of Kryvorizhzhia: monographic textbook. Kryvyi Rih: Publishing House R.A. Kozlov; 2015. 272 p. Ukrainian.
10. Weather Archive: Kryvyi Rih Airport [Internet] [cited 2024 Dec 20]. Available from: <https://www.meteoblue.com/uk/weather/forecast/week>. Ukrainian.

11. Nordt B, Hensen I, Bucher SF, Freiberg M, Primack RB, Stevens AD, et al. The PhenObs initiative: A standardised protocol for monitoring phenological responses to climate change using herbaceous plant species in botanical gardens. *Funct Ecol*. 2021;35:821-34. doi:10.1111/1365-2435.13747
12. Prylutskiy YI, Ilchenko OV, Tsymbaliuk OV, Kosterin SO. Statistical methods in biology. Kyiv: Naukova Dumka; 2017. 216 p. Ukrainian.
13. Christenhusz MJM, Govaerts A, Zonneveld BJM, Rumsey FJ, Fay MF. Tiptoe through the tulips – cultural history, molecular phylogenetics and classification of *Tulipa* (Liliaceae). *Bot J Linn Soc*. 2013;172(3):280-328. doi:10.1111/boj.12061
14. Dekhkonov D, Tojibaev K, Yusupov Z, Makhmudjanov D, Asatulloev T. Morphology of tulips (*Tulipa*, Liliaceae) in its primary centre of diversity. *Plant Divers Cent Asia*. 2022;1:52-70. doi:10.54981/PCDA/vol1_iss1/a1
15. Crespo MB, Martínez-Azorín M, Mavrodiev EV. Notes on taxonomy and nomenclature of Juno irises (*Juno*, Iridaceae). *Phytotaxa*. 2018;376:185-90. doi:10.11646/phytotaxa.387.4.4
16. Nowińska R, Czarna A. Naturalization of the ornamental plant *Crocus tommasinianus* Herb. (Iridaceae) in forest ecosystems: A case study from Poland. *Forests*. 2024;15:1851. doi:10.3390/f15111851
17. Yildirim H, Yetsen K, Özdemir A, Özdemir C. An anatomical study of *Scilla* (Scilloideae) section *Chionodoxa* and *Scilla bifolia* in Turkey. *Planta Daninha*. 2017;35:1-11. doi:10.1590/s0100-83582017350100004
18. Johnson R, Marshall C. Invasive plant alert: Spanish bluebells, *Hyacinthoides hispanica* (Mill.) Rothm. National Park Service, National Capital Region Exotic Plant Management Team; 2012.
19. Çitak BY, Dural H, Uysal T. Comparative anatomical and morphological studies on six *Muscari* species (Asparagaceae). *Biol Divers Conserv*. 2019;12(2):141-50. doi:10.5505/biodicon.2019.92408
20. Missouri Botanical Garden. [*Camassia leichtlinii*] [Internet]. Available from: <https://www.missouribotanicalgarden.org/PlantFinder/PlantFinderDetails.aspx?kempercode=q550>. Accessed 9 Apr 2025.

T. Chyplyak, V. Akhmedova

Kryvyi Rih Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kryvyi Rih, Ukraine

PECULIARITIES OF THE DEVELOPMENT OF CERTAIN BULBOUS SPECIES UNDER THE CLIMATIC CONDITIONS OF THE STEPPE ZONE OF UKRAINE (A CASE STUDY OF KRYVORIZHZHIA)

Abstract

The ecological and biological development characteristics of species from the families Asparagaceae (*Camassia leichtlinii*, *Hyacinthoides hispanica*, *Muscari heldreichii*, *Scilla litardieri*, *S. sardensis*), Iridaceae (*Crocus tauricus*, *C. tommasinianus*, *Juno bucharica*), and Liliaceae (*Tulipa neustruevae*, *T. turkestanica*, *T. urumiensis*) were studied under the climatic conditions of the steppe zone of Ukraine, using Kryvorizhzhia as a model area. The research was based on the living collections of the Kryvyi Rih Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine. The climatic conditions are typical of the steppe zone, characterized by low air and soil moisture and high summer temperatures. Annual precipitation ranges from 350 to 450 mm, with a moisture deficit during the summer months. The study used materials collected from 2017 to 2024, with particular attention paid to the onset and duration of flowering.

The results indicate that under the climatic conditions of the steppe zone of Ukraine, the introduction of plants to Kryvorizhzhia leads to changes in their generative development. Between 2017 and 2024, the onset of flowering became more stable, as evidenced by a decrease in the range of variation: from ± 11 –18 days in 2017–2020 to ± 6 –10 days in 2021–2024. The flowering phase in most species occurs in April, which is the most climatically favorable time. Such results are also confirmed by the value of the average daily air temperature at the beginning of flowering – at the initial stages of introduction it varied from 2.5 °C to 22 °C. In recent years, *Tulipa turkestanica*, *T. neustruevae*, *T. urumiensis* began to bloom at temperatures of 10–18 °C; *Crocus tauricus* and *C. tommasinianus* – at 4–7 °C, *Juno bucharica* – at 8–13 °C; *Hyacinthoides hispanica*, *Scilla sardensis*, *Muscari heldreichii* – at 7–15 °C, *Scilla litardieri*, *Camassia leichtlinii* – at 15–20 °C. The average duration of flowering of species in the climatic conditions of Kryvorizhzhia does not exceed 12–15 days, regardless of genus. The longest flowering period (up to 20 days) was observed in *Camassia leichtlinii* – a species with high ecological plasticity – and in *Juno bucharica*, whose native range closely resembles the introduction region in terms of climate. Despite the relatively short flowering period, the use of a wide range of species, varieties, and forms of the studied genera makes it possible to create a decorative effect in the urban landscapes of the steppe zone of Ukraine for two months – from mid-March to the end of May.

Keywords: bulbous plants, phenological rhythms, onset of flowering, flowering duration.

ARTICLE HISTORY. Submitted 2 June 2025. Accepted 27 June 2025. Published 18 August 2025

Відомості про авторів Authors Information

Чипиляк Тетяна Федорівна – кандидат біологічних наук, завідувачка відділу природної та культурної флори Криворізького ботанічного саду Національної академії наук України, Кривий Ріг, Україна

Chypyliak Tetiana – Candidate of Biological Sciences, Head of Department of Natural and Cultural Flora of Kryvyi Rih Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kryvyi Rih, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-2193-5350>
chipiljak@i.ua

Ахмедова Вікторія Вугарівна – провідний інженер відділу природної та культурної флори, Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України, Кривий Ріг, Україна

Akhmedova Viktoria – Leading Engineer at the Department of Natural and Cultural Flora, Kryvyi Rih Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kryvyi Rih, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0007-2685-7175>
Akhmedova@nas.gov.ua



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Ахмедова Вікторія Вугарівна – провідний інженер відділу природної та культурної флори, Криворізький ботанічний сад НАН України, Київ, Україна
<https://orcid.org/0009-0007-2685-7175>
Akhmedova@nas.gov.ua

Авдєєва Лілія Василівна – доктор медичних наук, професор, завідувачка відділу антибіотиків Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України, Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-8458-444X>
avdeeva_liliya@imv.ukr.net

Білько Денис Іванович – кандидат біологічних наук, доцент кафедри лабораторної діагностики біологічних систем Національного університету «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА), Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-6801-401X>
denys.bilko@ukma.edu.ua

Білько Надія Михайлівна – доктор медичних наук, професор кафедри лабораторної діагностики біологічних систем Національного університету «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА), Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-3213-0032>
nbilko@ukma.edu.ua

Блюм Ярослав Борисович – академік НАН України, професор, доктор біологічних наук, директор Державної установи «Інститут харчової біотехнології та геноміки НАН України», Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-7078-7548>
cellbio@cellbio.freenet.viaduk.net

Братищенко Анастасія Сергіївна – студентка бакалаврської програми «Біологія та біотехнологія» кафедри біології Національного університету «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА), Київ, Україна
<https://orcid.org/0009-0005-4176-1644>
anastasiia.bratyshchenko@ukma.edu.ua

Винявська Поліна Олегівна – студентка магістерської програми «Молекулярна біологія» кафедри біології Національного університету «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА), Київ, Україна
<https://orcid.org/0009-0007-9756-1371>
p.vyniavska@ukma.edu.ua

Вишенська Ірина Георгіївна – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології Національного університету «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА), Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-2075-5705>
vyshenska@ukma.edu.ua

Гав'яз Володимир Олександрович – аспірант Інституту молекулярної біології і генетики НАН України, Київ, Україна
<https://orcid.org/0009-0000-4840-3069>
volodhavy@gmail.com

Гетьман Поліна Андріївна – провідний інженер відділу геоботаніки та екології Інституту ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України, Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-2391-5863>
poli-getman@ukr.net

Гончаренко Антон Ігорович – аспірант Інституту молекулярної біології і генетики НАН України, Київ, Україна
<https://orcid.org/0009-0006-4124-5321>
a.honcharenko@ukma.edu.ua

Горяїнова Надія Валеріївна – доктор медичних наук, старший науковий співробітник, завідувачка відділення захворювань системи крові ДУ «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-2123-4140>
igt2@ukr.net

Дідух Яків Петрович – академік НАН України, доктор біологічних наук, завідувач відділу геоботаніки та екології Інституту ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України, Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-3611-3993>
ya.didukh@gmail.com

Долженко Юрій Володимирович – аспірант Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя, Ніжин, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-9807-2835>
yuriy_dolzhenko@ukr.net

Древаль Денис Вікторович – магістр з ветеринарної медицини, завідувач відділу патанатомії та бактеріології ТОВ «Центр ветеринарної діагностики», Київ, Україна
<https://orcid.org/0009-0008-0416-9619>
dreval_denis@ukr.net

Кононенко Олексій Анатолійович – кандидат медичних наук, лікар-уролог науково-клінічного відділу пластичної та реконструктивної онкоурології Державного некомерційного підприємства «Національний інститут раку», Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-7081-5964>
kononenko_ol@ukr.net

Кравченко Олена Валеріївна – кандидат наук з міжнародних відносин, директор Міжнародної благодійної організації «Екологія-Право-Людина» (МБО ЕПЛ), Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5794-4684>
okravchenko@epl.org.ua

Лисенко Дарина Олександрівна – студентка бакалаврської програми «Екологія» кафедри екології Національного університету «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА), Київ, Україна
<https://orcid.org/0009-0005-0272-4226>
d.lysenko@ukma.edu.ua

Маньковська Оксана Сергіївна – кандидат біологічних наук, науковий співробітник Інституту молекулярної біології і генетики НАН України, старший викладач кафедри біології Національного університету «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА), Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-2639-8494>
mankovska@gmail.com

Мельник Віктор Іванович – доктор біологічних наук, завідувач відділу природної флори Національного ботанічного саду імені М. М. Гришка НАН України, Київ, Україна
<https://orcid.org/0009-0004-9072-1297>
melnkviktor6@gmail.com

Мойсієнко Іван Іванович – доктор біологічних наук, завідувач кафедри ботаніки Херсонського державного університету, Херсон, Україна; Інститут ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України, Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-0689-6392>
ivan.moysiyenko@gmail.com

Муленко Михайло Андрійович – завідувач сектору охорони природи Національного заповідника «Хортиця», Запоріжжя, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-0054-6914>
mulekomihail@gmail.com

Нечипуренко Олексій Олександрович – кандидат біологічних наук, старший викладач кафедри біології факультету природничих наук Національного університету «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА), докторант відділу антибіотиків Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України, Київ, Україна
<https://orcid.org/0009-0008-5803-6723>
ne4upura@ukr.net

Пасічник Тетяна Володимирівна – кандидат біологічних наук, старший викладач кафедри біології Національного університету «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА), Київ, Україна
<https://orcid.org/0009-0006-1467-8172>
t.pasichnyk@ukma.edu.ua

Пахаренко Маргарита Вікторівна – PhD, старший викладач кафедри лабораторної діагностики біологічних систем Національного університету «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА), Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-2718-5116>
m.pakharenko@ukma.edu.ua

Полянська Катерина Валентинівна – кандидат географічних наук, еколог першої категорії Міжнародної благодійної організації «Екологія-Право-Людина» (МБО ЕПЛ), Київ, Україна
<https://orcid.org/0009-0008-3976-1700>
k.polyanska@epl.org.ua

Росохацька Інна Василівна – провідний інженер відділу молекулярної онкогенетики Інституту молекулярної біології і генетики НАН України, Київ, Україна
<https://orcid.org/0009-0009-9409-3108>
prima@imbg.org.ua

Руссу Ірина Зіновіївна – кандидат біологічних наук, завідувачка кафедри лабораторної діагностики біологічних систем Національного університету «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА), Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-9676-2859>
iryna.russu@ukma.edu.ua

Созінова Оксана Ігорівна – молодший науковий співробітник Інституту захисту рослин НААН, Київ, Україна; аспірантка Державної установи «Інститут харчової біотехнології та геноміки НАН України», Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-0981-3433>
sozinovaoksana1@gmail.com

Стародуб Галина Сергіївна – кандидат медичних наук, лікар-гематолог, старший науковий співробітник відділення захворювань системи крові ДУ «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-8402-2156>
gal.starodub@gmail.com

Стаховський Едуард Олександрович – доктор медичних наук, професор, член-кореспондент НАМН України, завідувач науково-клінічного відділу пластичної та реконструктивної онкоурології Державного некомерційного підприємства «Національний інститут раку», Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5677-8768>
estakhovsky@yahoo.com

Третяк Наталія Миколаївна – доктор медичних наук, професор, головний науковий співробітник відділення захворювань системи крові ДУ «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», Київ, Україна
<https://orcid.org/0009-0005-8991-892X>
igt2@ukr.net

Фуртат Ірина Михайлівна – кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології факультету природничих наук Національного університету «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА), Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-0681-2889>
furtat@ukma.edu.ua

Чиж Ольга Василівна – аспірантка Національного ботанічного саду імені М. М. Гришка НАН України, Київ, Україна
<https://orcid.org/0009-0006-0996-5986>
olyachyzh037@gmail.com

Чипиляк Тетяна Федорівна – кандидат біологічних наук, завідувачка відділу природної та культурної флори Криворізького ботанічного саду Національної академії наук України, Кривий Ріг, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-2193-5350>
chipiljak@i.ua

Чусова Ольга Олександрівна – кандидат біологічних наук, науковий співробітник відділу геоботаніки та екології Інституту ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України, Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-8081-9918>
olgachusova28@gmail.com

Шпильчин Віталій Віталійович – кандидат біологічних наук, старший викладач кафедри біології Національного університету «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА), Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-8494-0926>
vshpylchyn@ukma.edu.ua

AUTHORS INFORMATION

Akhmedova Viktoriia – Leading Engineer at the Department of Natural and Cultural Flora, Kryvyi Rih Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kryvyi Rih, Ukraine

<https://orcid.org/0009-0007-2685-7175>

Akhmedova@nas.gov.ua

Avdeeva Liliya – Doctor of Science in Medicine, Professor, Head of Antibiotics Department, D. K. Zabolotny Institute of Microbiology and Virology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-8458-444X>

avdeeva_liliya@imv.ukr.net

Bilko Denys – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor at the Department of Laboratory Diagnostics of Biological Systems, National University of Kyiv-Mohyla Academy (NaUKMA), Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-6801-401X>

denys.bilko@ukma.edu.ua

Bilko Nadiia – Doctor of Sciences in Medicine, Professor, Professor at the Department of Laboratory Diagnostics of Biological Systems, National University of Kyiv-Mohyla Academy (NaUKMA), Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-3213-0032>

nbilko@ukma.edu.ua

Blume Yaroslav – Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine, Professor, Doctor of Biological Sciences, Director of Institute of Food Biotechnology and Genomics, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-7078-7548>

cellbio@cellbio.freenet.viaduk.net

Bratyshchenko Anastasiia – student of the Bachelor's Program "Biology and Biotechnology" of the Biology Department, National University of Kyiv-Mohyla Academy (NaUKMA), Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0009-0005-4176-1644>

anastasiia.bratyshchenko@ukma.edu.ua

Chusova Olga – Candidate of Biological Sciences, Researcher at the Department of Geobotany and Ecology of the M. G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-8081-9918>

olgachusova28@gmail.com

Chypyliak Tetiana – Candidate of Biological Sciences, Head of Department of Natural and Cultural Flora of Kryvyi Rih Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kryvyi Rih, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-2193-5350>

chipiljak@i.ua

Chyzyh Olha – PhD student of M. M. Gryshko National Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0009-0006-0996-5986>

olyachyzyh037@gmail.com

Didukh Yakiv – Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Biological Sciences, Head of the Department of Geobotany and Ecology of the M. G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-3611-3993>

ya.didukh@gmail.com

Dolzhenko Yuriy – PhD student at the Mykola Gogol Nizhyn State University, Nizhyn, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-9807-2835>
yuriy_dolzhenko@ukr.net

Dreval Denis – Master in Veterinary Medicine, Head of Pathology and Bacteriology Department of Centre of Veterinary Diagnostic, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0008-0416-9619>
dreval_denis@ukr.net

Furtat Iryna – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor at the Biology Department of National University of Kyiv-Mohyla Academy (NaUKMA), Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0681-2889>
furtat@ukma.edu.ua

Goryainova Nadiia – Doctor of Science in Medicine, Senior Research Associate, Head of the Department of Blood System Diseases of State Institution “National Research Center for Radiation Medicine of National Academy of Sciences of Ukraine” (NRCRM), Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-2123-4140>
igt2@ukr.net

Haviaz Volodymyr – PhD student of Institute of Molecular Biology and Genetics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0000-4840-3069>
volodhavy@gmail.com

Hetman Polina – Senior Engineer of Department of Geobotany and Ecology of the M. G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-2391-5863>
poli-getman@ukr.net

Honcharenko Anton – PhD student of Institute of Molecular Biology and Genetics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0006-4124-5321>
a.honcharenko@ukma.edu.ua

Kononenko Oleksiy – Candidate of Medical Sciences, Urologist at the Scientific and Clinical Department of Plastic and Reconstructive Oncourology, State Non-Profit Enterprise “National Cancer Institute”, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-7081-5964>
kononenko_ol@ukr.net

Kravchenko Olena – PhD in International Relations, Director of the International Charitable Organization “Ecology-Law-Human”, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5794-4684>
okravchenko@epl.org.ua

Lysenko Daryna – student of the Bachelor’s Program “Ecology” of Department of Ecology of the National University of Kyiv-Mohyla Academy (NaUKMA), Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0005-0272-4226>
d.lysenko@ukma.edu.ua

Mankovska Oksana – PhD in Biology, Research Scientist at the Institute of Molecular Biology and Genetics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Senior Lecturer at the Department of Biology of National University of Kyiv-Mohyla Academy (NaUKMA), Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-2639-8494>
mankovska@gmail.com

Melnyk Viktor – Doctor of Biological Sciences, Head of Department of Natural Flora of M. M. Gryshko National Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0009-0004-9072-1297>

melnykviktor6@gmail.com

Moysiyenko Ivan – Doctor Science in Biology, Head of the Department of Botany of Kherson State University, Kherson, Ukraine; M. G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-0689-6392>

ivan.moysiyenko@gmail.com

Mulenko Mykhailo – Head of the Nature Conservation Sector of the Khortytsia National Reserve, Zaporizhzhia, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-0054-6914>

mulekomihail@gmail.com

Nechypurenko Oleksii – Candidate of Biological Sciences, Senior Lecturer at the Department of Biology of National University of Kyiv-Mohyla Academy (NaUKMA), PostDoc Program at Antibiotic Department of D. K. Zabolotny Institute of Microbiology and Virology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0009-0008-5803-6723>

ne4upura@ukr.net

Pakharenko Marharyta – PhD in Biology, Senior Lecturer of the Department of Laboratory Diagnostics of Biological Systems of National University of Kyiv-Mohyla Academy (NaUKMA), Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-2718-5116>

m.pakharenko@ukma.edu.ua

Pasichnyk Tetiana – Candidate of Biological Sciences, Senior Lecturer at the Department of Biology of National University of Kyiv-Mohyla Academy (NaUKMA), Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0009-0006-1467-8172>

t.pasichnyk@ukma.edu.ua

Polyanska Kateryna – Candidate of Geographical Sciences, Ecologist of the 1st Category of the International Charitable Organization “Ecology-Law-Human”, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0009-0008-3976-1700>

k.polyanska@epl.org.ua

Rosohatska Inna – Leading Engineer at Department of Molecular Oncogenetics of Institute of Molecular Biology and Genetics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0009-0009-9409-3108>

prima@imbg.org.ua

Russu Iryna – PhD in Biology, Head of the Department of Laboratory Diagnostics of Biological Systems of National University of Kyiv-Mohyla Academy (NaUKMA), Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-9676-2859>

iryna.russu@ukma.edu.ua

Shpylychyn Vitaliy – Candidate of Biological Sciences, Senior Lecturer at Department of Biology of National University of Kyiv-Mohyla Academy (NaUKMA), Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-8494-0926>

vshpylychyn@ukma.edu.ua

Sozinova Oksana – Junior Researcher of Institute of Plant Protection NAAS, Kyiv, Ukraine; PhD student of Institute of Food Biotechnology and Genomics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-0981-3433>

sozinovaoksana1@gmail.com

Stakhovsky Eduard – Doctor Science in Medicine, Professor, Corresponding Member of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Head of the Scientific and Clinical Department of Plastic and Reconstructive Oncourology of the State Non-Profit Enterprise “National Cancer Institute”, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-5677-8768>

estakhovsky@yahoo.com

Starodub Halyna – PhD in Medicine, Hematologist, Senior Research Associate at the Department of Blood System Diseases of State Institution “National Research Center for Radiation Medicine of National Academy of Sciences of Ukraine” (NRCRM), Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-8402-2156>

gal.starodub@gmail.com

Tretiak Nataliia – Doctor Science in Medicine, Professor, Chief Researcher at the Department of Blood System Diseases of State Institution “National Research Center for Radiation Medicine of National Academy of Sciences of Ukraine” (NRCRM), Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0009-0005-8991-892X>

igt2@ukr.net

Vyniavska Polina – student of the Master’s Program “Molecular Biology” of Department of Biology of National University of Kyiv-Mohyla Academy (NaUKMA), Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0009-0007-9756-1371>

p.vyniavska@ukma.edu.ua

Vyshenska Iryna – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor at the Ecology Department of the National University of Kyiv-Mohyla Academy (NaUKMA), Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-2075-5705>

vyshenska@ukma.edu.ua

ЗМІСТ

БІОЛОГІЯ

<i>Білько Н. М., Стародуб Г. С., Третяк Н. М., Горяінова Н. В., Пахаренко М. В., Руссу І. З., Білько Д. І.</i> Особливості функціонування гемопоетичних клітин-попередників у пацієнтів із мієлодиспластичним синдромом, лікованих леналідомідом	3
<i>Братищенко А. С., Гав'яз В. О., Гончаренко А. І., Стаховський Е. О., Кононенко О. А., Росохацька І. В., Пасічник Т. В., Маньковська О. С.</i> Довга некодувальна РНК SNHG1 як діагностичний та прогностичний маркер раку сечового міхура	10
<i>Винявська П. О., Шпильчин В. В.</i> Зв'язок супутньої патології альфа-синуклеїну з рівнями бета-амілоїду та фосфорильованого тау-білка при хворобі Альцгеймера	19
<i>Долженко Ю. В.</i> Краніологія чоловіків черняхівської культури з могильника біля селища Шишаки	30
<i>Нечипуренко О. О., Фуртат І. М., Древаль Д. В., Авдєєва Л. В.</i> Колібактеріоз у курчат-бройлерів та його етіологічний зв'язок із біологічними характеристиками виділених штамів <i>Escherichia coli</i> з племінного поголів'я.....	45
<i>Созінова О. І., Блюм Я. Б.</i> Однонуклеотидні поліморфізми в послідовностях гена <i>Pina</i> деяких диплоїдних видів роду <i>Aegilops</i>	55

ЕКОЛОГІЯ

<i>Вишенська І. Г., Лисенко Д. О.</i> Моніторинг інвазійних деревних видів рослин в урбоєкосистемах міста Києва	62
<i>Дідух Я. П., Мойсієнко І. І., Кравченко О. В., Муленко М. А., Полянська К. А., Чусова О. О., Гетьман П. А.</i> Початкові етапи формування заплавних лісів днища Каховського водосховища та прогноз їхнього розвитку	70
<i>Мельник В. І.</i> Закономірності географічного поширення скельнодубових лісів на Поліссі	81
<i>Чиж О. В.</i> Географічне поширення та стан популяцій <i>Astragalus dasyanthus</i> Pall. у Черкаській області	90
<i>Читиляк Т. Ф., Ахмедова В. В.</i> Особливості розвитку окремих видів цибулинних у кліматичних умовах степової зони України (на прикладі Криворіжжя)	98
Відомості про авторів	108

CONTENTS

BIOLOGY

<i>N. Bilko, H. Starodub, N. Tretiak, N. Goryainova, M. Pakhareno, I. Russu, D. Bilko</i> Features of hematopoietic progenitor cell functioning in patients with myelodysplastic syndrome treated with lenalidomide.....	3
<i>A. Bratyshchenko, V. Haviar, A. Honcharenko, E. Stakhovsky, O. Kononenko, I. Rosohatska, T. Pasichnyk, O. Mankovska</i> Long non-coding RNA SNHG1 as a diagnostic and prognostic marker of bladder cancer	10
<i>P. Vyniavska, V. Shpylchyn</i> Association of alpha-synuclein co-pathology with beta-amyloid and phosphorylated tau levels in Alzheimer's disease.....	19
<i>Yu. Dolzhenko</i> Craniology of Chernyakhiv culture males from Shyshaky.....	30
<i>O. Nechypurenko, I. Furtat, D. Dreval, L. Avdeeva</i> Colibacillosis in broiler chicks and its etiological link to the biological characteristics of <i>Escherichia coli</i> isolates from the breeder flock.....	45
<i>O. Sozinova, Ya. Blume</i> Single nucleotide polymorphisms in <i>Pina</i> gene sequences of some diploid species of the genus <i>Aegilops</i>	55

ECOLOGY

<i>I. Vyshenska, D. Lysenko</i> Monitoring of invasive woody plant species in urban ecosystems of Kyiv	62
<i>Ya. Didukh, I. Moysiienko, O. Kravchenko, M. Mullenko, K. Polyanska, O. Chusova, P. Hetman</i> Initial stages of formation of floodplain forests of the bottom of the Kakhovka reservoir and forecast of their development	70
<i>V. Melnyk</i> Regularities in the geographical distribution of durmast oak forests in Polissia.....	81
<i>O. Chyzh</i> Geographical distribution and population status of <i>Astragalus dasyanthus</i> Pall. in the Cherkasy Region	90
<i>T. Chypyliak, V. Akhmedova</i> Peculiarities of the development of certain bulbous species under the climatic conditions of the steppe zone of Ukraine (a case study of Kryvorizhzhia)	98
Authors Information.....	108