

## Вісник Національного науково-природничого музею Proceedings of the National Museum of Natural History

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ • ВИДАЄТЬСЯ З 2001 РОКУ • ВИХОДИТЬ ОДИН-ДВА РАЗИ НА РІК • КИЇВ  
SCIENTIFIC JOURNAL • FOUNDED IN 2001 • SEMI-ANNUAL/ANNUAL • KYIV

### Зміст

#### музеологія

*Михаленок, Д.* Стіна Лагоріо в Криму: сторінки наукової діяльності геолога Олександра Лагоріо

*Протасов, О.* Три концепції: погляд академічного еколога

#### геологія та палеонтологія

*Боярина, Н.* Динаміка пізньопенсильванської рослинності Донецького басейну України [англ.]

*Дернов, В., Г. Анфімова.* Стовбур деревоподібної лікопсиди *Sigillaria* з прикріпленими кореневими органами *Stigmara* з пенсильванських відкладів Донецького басейну (Схід України) [англ.]

*Науменко, У., В. Мацуй, О. Науменко.* Дослідження та застосування рідкісних і рідкісноземельних елементів в Україні: шлях до інновацій та сталого розвитку) [англ.]

*Яковлев, А., І. Самчук.* Диз'юнктивні порушення як флюїдоупори покладів вуглеводнів приштокових блоків Дніпровсько-Донецької западини (Україна)

#### біологія та екологія

*Любінська, Л., М. Шевера, В. Величко.* Онтоморфогенез *Chamaecytisus podolicus* (Fabaceae) та стан локальних популяцій в Україні

### Contents

#### museology

**3** *Mikhalenok, D.* Lagorio Wall in the Crimea: pages of scientific activity of an outstanding geologist Aleksandr Lagorio

**32** *Protasov, A.* Three concepts: an academic ecologist's view

#### geology & paleontology

**45** *Boyarina, N.* Late Pennsylvanian vegetation dynamics of the Donets Basin, Ukraine

**79** *Dernov, V., H. Anfimova.* A stem of an arborescent lycopsid *Sigillaria* with attached rooting organs *Stigmara* from the Pennsylvanian of the Donets Basin, eastern Ukraine

**95** *Naumenko, U., V. Matsui, O. Naumenko.* Research and application of unique and rare earth elements in Ukraine: the way to innovation and sustainable development

**104** *Yakovlev, A., I. Samchuk.* Fault dislocations as fluid barriers of hydrocarbon deposits near salt domes in the Dnipro-Donets Depression, Ukraine

#### biology & ecology

**113** *Lyubinska, L., M. Shevera, V. Velychko.* Ontomorphogenesis of *Chamaecytisus podolicus* (Fabaceae) and state of local populations in Ukraine

- Маніло, Л.* Різноманіття риб атлантично-середземноморського походження морських акваторій Азово-Чорноморського басейну в межах України **121** *Manilo, L.* The diversity of fish of Atlantic-Mediterranean origin in the marine waters of the Azov-Black Sea basin within the borders of Ukraine
- Мигаль, А., В. Роман.* Застосування набору просторових даних для моніторингу інвазійних видів деревних рослин у лісах Закарпаття (Україна) **135** *Mihaly, A., V. Roman.* Application of a spatial dataset for monitoring invasive woody plant species in the forests of Transcarpathia, Ukraine
- Москаленко, Ю.* Батиметричне моделювання східної частини Тендрівської затоки з використанням даних дистанційного зондування Sentinel-2 **145** *Moskalenko, Y.* Bathymetry modelling of eastern Tendrivska bay using Sentinel-2 remote sensing data
- Решотка, О., Ю. Комлик.* Розподіл гніздових біоморф птахів у зелених насадженнях лівобережної частини міста Дніпро **160** *Reshotka, O., Y. Komlyk.* Distribution of nesting biomorphs of birds in green areas of the left-bank part of Dnipro City (Ukraine)
- Шидловський, І., Б. Андрійшин, С. Сусуловська.* Колекції земноводних (Amphibia) Зоологічного музею Львівського національного університету імені Івана Франка **175** *Shydlovskyy, I., B. Andriyishyn, S. Susulovska.* Amphibian collections in Zoological Museum of the Ivan Franko National University of Lviv
- хроніки
- Загороднюк, І.* Визначні колектори теріологічних колекцій у музеях Києва на тлі історії зоологічних колекцій **183** *Zagorodniuk, I.* Prominent collectors of mammalogical collections in museums of Kyiv in the context of the history of zoological collections

## GEO&BIO 2024, том 26

Підписано до друку 30.12.2024 р. Формат 60×84/8. Папір офсетний.  
Гарнітура Minion Pro. Ум.-друк. арк. 23,8. Обл.-видав. арк. 15,8. Наклад 100 прим.

Друк: ТЗОВ «Простір М»

Свідоцтво ДК № 5068 від 22.03.2016 р. про внесення до Державного реєстру видавців України  
вул. Мирослава Скорики, 8, Львів, 79000 Україна; тел.: (032) 261-09-05; e-mail: prostir.druk@gmail.com

# Lagorio's Wall in the Crimea: pages of scientific activity of the geologist Oleksandr Lagorio

Dmytro Mikhalenok

Ukrainian Theriological Society, NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

## article info

### key words

scientific views, relief, igneous rocks, laccoliths, dykes, petrography, Crimea.

### correspondence to

Dmytro Mikhalenok; Ukrainian Theriological Society, NAS of Ukraine, 15 Bohdan Khmelnytsky Street, Kyiv, 01054 Ukraine; Email: dmikh@ukr.net; orcid: 0009-0006-4994-360X

### article history

Submitted: 19.01.2024. Revised: 11.05.2024. Accepted: 30.06.2024

### cite as

Mikhalenok, D. 2024. Lagorio's Wall in the Crimea: pages of scientific activity of the geologist Oleksandr Lagorio. *GEO&BIO*, 26: 3–31. [Ukrainian, with English summary]

## abstract

The paper presents selected pages from the biography and scientific activity of the world-famous geologist Oleksandr Lagorio (1852–1944). The formation of the Lagorio's scientific views in the universities of Dörpt (now Tartu, Estonia) and Warsaw (now Poland) are shown. In the latter, a wide profiled scientific school of the scientist was formed, including synthetic geology (experimental mineralogy and petrography)—the most well-known representative of which was the Polish scientist Józef Morozewicz, crystallography (Georg Wulff), and applied and theoretical geology (Dmytro M. Sobolev). First published is the letter to V. I. Vernadsky (dated to 30 December 1893) with a request to provide care for his students. The information presented provides further details to the biography of all those mentioned in the letter. Lagorio studied the processes of magma differentiation—Lagorio's rule is now well-known in petrography. His research laid foundation for the physicochemical direction in petrography. In the Crimea, in various years between 1877 and 1897, the scientist studied the outcrops of igneous rocks considering their active influence on the formation of the relief. His theoretical views on the relations between igneous rocks and tectonics remain relevant until these days. All outcrops of igneous rocks were attributed to one magmatic centre, and the scientist estimated their age as Upper Jurassic–Lower Cretaceous. In the Crimea, the scientist first discovered granites, schists, the rock taurit, the mineral natrolite, etc. Details of the scientist's excursion to Kara-Dag (published in French), which took place in September 1897, with participants of the VII International Geological Congress are presented: it was the first presentation of geological objects as an open-air museum to the scientific community. During the excursion, the scientist drew particular attention to a picturesque, large and majestic dyke. In the scientific literature and toponymy of the early 20th century, the dyke was called Lagorio's Wall as a tribute to the outstanding geologist, native and researcher of the Crimea, whose scientific ideas continue to fascinate researchers. Details of an excursion to the Crimean Mountains also led by Oleksandr Lagorio are briefly described. The two excursions laid the foundation of international scientific tourism to the Crimea. The scientist's views on the age of igneous rocks were confirmed by other domestic researchers and have been further developed in geological science.

© 2024 The author(s); Published by the National Museum of Natural History, NAS of Ukraine on behalf of GEO&BIO. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY-SA 4.0), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

# Стіна Лагоріо в Криму: сторінки наукової діяльності геолога Олександра Лагоріо

Дмитро Михаленок

**Резюме.** Стаття висвітлює вибрані сторінки біографії і наукової діяльності всесвітньовідомого геолога Олександра Лагоріо (1852–1944). Показано формування наукових поглядів у Дерптському та Варшавському університетах. В останньому сформувалася широкопрофільна наукова школа вченого: синтетиків (експериментальна мінералогія і петрографія), найвідомішим представником цього напрямку був видатний польський вчений Юзеф Морозевич; кристалографії (Ю. В. Вульф) та прикладної і теоретичної геології (Д. М. Соболев). Вперше опубліковано текст листа (від 30.12.1893) до В. І. Вернадського з проханням подбати про своїх учнів. Висвітлена інформація надає додаткові біографічні матеріали до всіх, згаданих у листі осіб. Вчений вивчав процеси диференціації магми — у петрографії відоме правило Лагоріо. Дослідження були провісниками фізико-хімічного напрямку у петрографії. В Криму, протягом 1877–1897 рр. вивчав прояви магматичних порід з точки зору їх активного впливу на формування рельєфу. Теоретичні погляди вченого на співвідношення магматичних порід і тектоніки актуальні і в наш час. Всі прояви магматичних порід було віднесено до одного магматичного осередку, а їхній вік вчений визначив як пізньоюрський-ранньокрейдовий. Вчений вперше відкрив у Криму граніти, кристалічні сланці, гірську породу таврит, мінерал натроліт тощо. Новою інформацією слугують подробиці наукової екскурсії по Карадагу (опубліковано французькою мовою), проведеною вченим у вересні 1897 р. для учасників VII міжнародного геологічного конгресу. Під час цього заходу відбулася перша презентація геологічних об'єктів своєрідного музею під відкритим небом для наукової спільноти. У ході екскурсії вчений, зокрема, звернув увагу на мальовничу, велику і величну дайку. На початку 20 ст. в науковій літературі й топоніміці вона отримала назву Стіни Лагоріо. В ній увіковічена пам'ять про видатного геолога, уродженця і дослідника Криму, наукові ідеї якого продовжують привертати увагу дослідників. Стисло висвітлено екскурсію Гірським Кримом, яку також провів Олександр Лагоріо. Обидві екскурсії започаткували становлення міжнародного наукового туризму в Криму. Наукові погляди вченого відносно магматичних порід були підтверджені вітчизняними вченими і набули розвитку у геологічній науці.

Ключові слова: наукові погляди, рельєф, магматичні породи, лаколіти, дайки, петрографія, Крим.

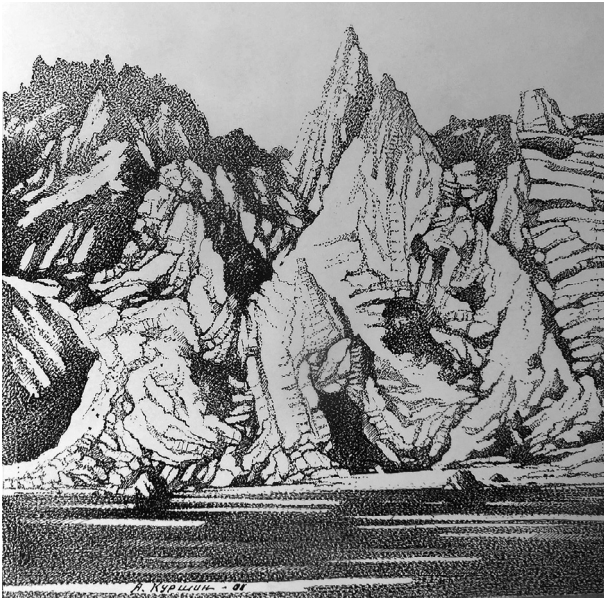
Адреса для зв'язку: Дмитро Михаленок; Українське теріологічне товариство НАН України, вул. Б. Хмельницького 15, Київ 01054 Україна; Email: dmikh@ukr.net; orcid: 0009-0006-4994-360X

## Вступ

Кожного відвідувача древнього вулкану Карадаг, що у Криму, вражає мальовнича, велична дайка Стіна Лагоріо. У багатьох виникає асоціація із художником мариністом Левом Феліксівичем Лагоріо (1826–1905). Насправді дайка названа на честь видатного геолога, петрографа, мінералога, географа, бібліофіла Олександра Євгеновича Лагоріо (1852–1944). В свій час Стіна Лагоріо в певній мірі надихнула автора на проведення наукових досліджень. Згодом виникло бажання розповісти про видатного геолога. На рис. 1 можна бачити, як художник А. В. Куршин зобразив Стіну Лагоріо з боку моря.

Зібраний автором матеріал дозволив висвітлити деякі теоретичні аспекти наукової діяльності, сконцентрувати увагу на вивченні магматичних порід Криму: їхнього геологічного віку та ролі у формуванні рельєфу; виявити особливості наукової школи вченого.

Головна мета нашої статті полягає в тому, щоб з різних боків показати особистість Олександра Лагоріо: поважне відношення до колег (вшанував пам'ять Огюста Добре, М. О. Головкинського), батьківська турбота про своїх учнів (Юзеф Морозевич, Ю. М. Вульф, Д. М. Соболев), наукові досягнення у питаннях кристалізації магми та досліджень в Криму, широкі наукові погляди. Ми згадали про його хист до малювання, любов до літератури (був бібліофілом, мав власну бібліотеку), до природи Криму. Не всі погляди вченого витримали випробування часом і деякі помилки відмічені (детальний їх аналіз не входив у наше завдання). Мимохід було звернуто увагу на погляди у визначенні віку вулканічних порід Карадагу, які набули своєї проекції і закріпилися у вітчизняній геологічній літературі при вивченні процесу



**Рис. 1.** Стіна Лагоріо (вид з боку моря). Художник А. В. Куршин. 2001 р. папір, туш. (художня збірка автора).

**Fig. 1.** Lagorio's Wall (view from the sea) by the painter A. V. Kurshyn, 2001, paper, Indian ink (from the author's art collection).

пустинний, безлюдний коктебельський пляж, на якому залишилися відбитки ніг людей. Думка спрямовує нас у вересень 1897 р. Ми наздоганяємо екскурсію і приєднуємося до неї.

## Методика досліджень

Застосована методика джерелознавчого аналізу із залученням загальнонаукових та історичних методів дослідження: аналітичного, синтетичного, ретроспективного, історико-порівняльного [Vinogradov & Nagorova 1960; Medyshevskaya 1976]. Були використані матеріали Архіву РАН — лист до В. І. Вернадського (Ф. 518, Оп. 3, Спр. 918, арк. 1–1 зв.). Текст архівного матеріалу подається у сучасній орфографії із збереженням пунктуації. При цитуванні Олександра Лагоріо збережений використаний ним курсив.

## 1. Сторінки біографії

Вчений прожив довге життя, його здобутки на ниві науки широко відомі. Разом з тим, докладне викладення його біографії та наукових досягнень ще чекає свого дослідника. В СРСР його ім'я в деякій мірі замовчувалося. Справа в тому, що після революційних подій 1917 р., разом із сім'єю, він назавжди покинув терени Російської імперії і згодом опинився у Німеччині, де жив і працював до кінця свого життя. Ця обставина, як і дата смерті, дослідникам його наукової спадщини була невідома. Тому не дивно, що у середині 20 ст., досліджуючи наукові досягнення вченого, О. П. Резніков був здивований тим, що його петрографічні роботи не вивчаються у вищих і не згадуються в підручниках по петрографії, хоча про нього згадував Ф. Ю. Левінсон-Лессінг [Reznikov 1955, 1956]. Дійсно, у роботах академіка Ф. Ю. Левінсон-Лессінга знаходимо належну, але далеко не повну оцінку досягнень Олександра Лагоріо у галузі петрографії [Levinson-Lessing 1936, 1950].

Подробиці про життя вченого у Німеччині нам поки що маловідомі. Зазначимо цікаву деталь. У 1920-х рр. Олександр Лагоріо працював разом з видатним німецьким вченим — фізико-хіміком, філософом, лауреатом Нобелівської премії з хімії 1909 р. Вільгельмом Освальдом.

формування тектоно-магматичних структур на всій території України [Dovgal *at al.* 1991; Radzivil & Radzivil 2006*a-b*] та інші. Маємо надію в окремій статті детально висвітлити це питання.

У працях Олександра Лагоріо під масивними породами слід розуміти магматичні породи.

На наш погляд, численні цитування, наведені у статті, доповнюють образ Олександра Лагоріо, вони являють собою своєрідне продовження пам'яті про нього. Крім того, важко собі уявити наукову статтю часів вченого без цитувань, часом досить розлогих, у яких виразніше виявляється позиція того, чи іншого вченого.

Певним ключем для геологічного (і не тільки) відкриття Карадагу, особливо для тих, хто там ні разу не був, слугує і текст екскурсії Олександра Лагоріо, поміщений у статті, і фотографія відомого геолога П. М. Чирвінського, зроблена у 1906 р. (показана на рис. 5). Бачимо величезний,

Проводив дослідження у галузі хімічної геології та кольорознавства<sup>1</sup>. Слід додати, що балтійській німець Вільгельм Освальд, як і Олександр Лагоріо, закінчив у 1875 р. фізико-математичний факультет Дерптського університету. Обидва були знайомі ще із студентських років. Вчення Вільгельма Освальда про кольори набуло поширення у Німеччині і застосовувалось як у практичній площині (фарфорові вироби, текстильна промисловість), так і в теоретичних розробках у психофізіології, фізиці, мінералогії тощо. Вчений видавав спеціальний журнал «Колір» [Rodnyu & Solovyev 1969].

Короткі біографічні дані щодо Олександра Лагоріо, містяться у невеличкій замітці за авторством Ф. Ю. Левінсон-Лессінга [Levinson-Lessing 1902a: 225–226] у першому томі «Біографічного словника професорів та викладачів Юрієвського, бувшого Дерптського, університету за сто років його існування (1802–1902)». На обидва томи розповсюджувалась певна цензура — у радянські часи на титульних листах було зазначено: «не копіювати» (Російська державна бібліотека, Москва).

З публікації дізнаємося, що Олександр Лагоріо народився в Криму, у Феодосії 15 серпня 1852 р. і наступні 14 років (до 1866 р.) виховувався вдома. Потім вчився у Кишинівській гімназії, після закінчення якої у 1870 р. поступив на фізико-математичний факультет Дерптського університету і закінчив у 1875 р. Обрав своєю спеціальністю петрографію. Ще у студентські роки (у 1874 р.) він написав на задану факультетом тему твір «Мікроскопічний аналіз порід Східної Прибалтики» [Lagorio 1876], за який здобув золоту медаль (робота була надрукована за рахунок університету) і отримав, після закінчення університету, ступінь кандидата (для підготовки до професорського звання). «Усі головні подальші праці Лагоріо також присвячені петрографії, в якій він здобув почесну відомість» [Levinson-Lessing 1902a: 226]. Наукову діяльність розпочав у 1876 р. на посаді асистента кафедри мінералогії і паралельно читав лекції у ветеринарному інституті Дерпта (тепер Тарту) з мінералогії та фізичної географії.

Через два роки, в кінці 1878 р. отримав ступінь магістра після захисту дисертації на тему «Андезити Кавказу» [Lagorio 1878] і звання приват-доцента. В університеті проводив практичні заняття з мінералогії та викладав курс мікроскопічної фізіографії петрографічно важливих мінералів та гірських порід. На останню обставину звернув увагу О. П. Резніков і підкреслив, що Олександр Лагоріо ще на посаді асистента у 1876 р. разом з приват-доцентом В. Я. Дибовським вперше ввели в навчальний процес університету поляризаційний мікроскоп [Reznikov 1956: 261]. Це дуже важливо, зважаючи на те, що «формальним початком ери мікроскопічної петрографії вважається 1858 р., тобто поява роботи Сорбі [Sorbi 1858]. Однак тільки протягом наступного за цим роком десятиріччя почалося розповсюдження поляризаційного мікроскопу та впровадження його у петрографічний ужиток» [Levinson-Lessing 1936: 11]. Загалом, період 1870–1890 рр. був епохою бурхливої мікроскопічної фізіографії — детально цей період висвітлено у вищеозначеній праці Ф. Ю. Левінсон-Лессінга. Для нас важлива та обставина, що наукова діяльність Олександра Лагоріо не тільки почалася на початку застосування у петрографії мікроскопічного методу, але він був одним із перших, хто ввів його у практику наукових досліджень.

У травні 1880 р. вчений захистив роботу «Порівняльно-петрографічні дослідження масивних гірських порід Криму» [Lagorio 1880a] на ступінь доктора мінералогії та геогнозії (нижче ми ще повернемося до розгляду цієї праці). В цьому ж році, за рекомендації професора Петербурзького університету О. О. Іностранцева та професора Дерптського університету К. І. Гревінга, його призначено на посаду екстраординарного професора мінералогії у Варшавському університеті (працював в університеті до 1898 р.). У 1885 р. молодий талановитий вчений отримав звання ординарного професора [Levinson-Lessing 1902a: 225].

У 1896 р. вченого обрали членом-кореспондентом Російської академії наук, а у 1897 р. він став директором Варшавського політехнічного інституту, де пропрацював до 1907 р. Потім

<sup>1</sup> За вікіпедією: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Лагоріо\\_Олександр\\_Євгенович](https://uk.wikipedia.org/wiki/Лагоріо_Олександр_Євгенович)



**Рис. 2.** Олександр Лагоріо, 1909 р., за: [Reznikov 1956: 263].

**Fig. 2.** Oleksandr Lagorio in 1909, after [Reznikov 1956: 263].

Однак помилки у датах життя продовжують зустрічатися. Так, у томі 16 Енциклопедії сучасної України, помилково вказано, що вчений помер у Берліні 01.08.1922 [Kiriliuk 2016: 437]. Остання публікація інформативно цікава, в ній, зокрема, відмічено, що відомий художник Л. Ф. Лагоріо доводився Олександрю Лагоріо двоюрідним братом. Проте тут неточність — художник доводився йому рідним дядьком. Загалом, для нащадків роду Лагоріо характерні художні здібності. Сам вчений виконував графічні роботи для ілюстрації своїх наукових публікацій, серед них: чудові кольорові геологічні карти (називав їх літологічними), графічні малюнки з натури, геологічні профілі тощо. Також відомий виконаний особисто до своєї бібліотеки екслібрис з зображенням напівоголеної жінки, перед якою чорношкірий амур тримає розкрити книжку, а на задньому плані зображено скелястий берег та вітрильники на горизонті [Vogomolov 2010: 430]. Можна допустити, що існують його художні картини, про які ми ще не знаємо. Обидві доньки Олександра Лагоріо — Аделаїда та Марія були художницями. Він був одружений на письменниці, донці письменника І. М. Потапенка — Наталії Ігнатіївни [Mukhachev 2011: 377].

Життя вченого у Німеччині та його наукові досягнення в цей період нам поки що відомі лише фрагментарно. З часом, завдяки дослідженням зарубіжних науковців, на яких ми зупинятися не станемо, дізнаємося більше.

## 2. Наукові погляди

Наукові погляди Олександра Лагоріо формувалися протягом всього життя. Ми коротко розглянемо деякі з них, почнемо з Дерптського університету, з кафедр мінералогії та хімії.

### 2.1. Дерптський університет

На час навчання Олександра Лагоріо (1870–1875) припадає наукова та викладацька діяльність відомого вченого, професора, мінералога К. І. Гревінгга, завдяки якому викладання мінералогії набуло значного розвитку. Саме під його керівництвом, після закінчення

переїхав у Петербург і зайняв посаду голови Учбового комітету Міністерства торгівлі та промисловості і члена Гірничого вченого комітету. Фотопортрет вченого цього часу представлено на рис. 2. Указом Тимчасового уряду від 11 квітня 1917 р. Олександра Лагоріо було звільнено від роботи. Далі, як зазначив О. П. Резніков, «...після 1917 р. про життя О. Є. Лагоріо нічого не відомо, не вдалося встановити поки що і дату його смерті» [Reznikov 1956: 262].

Ця невизначеність тривала включно до 2004 р., коли вийшов друком четвертий том «Незабутих могил» (зібрання некрологів та траурних об'яв, опублікованих у російських емігрантських виданнях). У короткому повідомленні зазначено: «Лагоріо Олександр Євгенович (1852–до 14 травня 1944, Мюнхен, Німеччина). Професор мінералогії у Варшавському університеті. Бувший товариш міністра торгівлі та промисловості. Раніш управляв учбовим відділом цього міністерства. Таємний радник. *Парижский вестник*, 1944, 13 травня, № 99» [Chuvakov 2004: 24].

університету, він працював асистентом на кафедрі мінералогії, а у 1879–1880 рр. вів свій власний курс мікроскопічної фізіографії мінералів. Певний вплив у формуванні наукового світогляду мав також приват-доцент, а в подальшому ординарний професор Іоган Лемберг, який займався на кафедрі хімії експериментальними дослідженнями в галузі хімічної геології та мікроскопічної мінералогії [Levitsky 1902: 150–151, 221–222]. У своїй науковій діяльності Олександр Лагоріо, окрім безпосереднього спілкування зі своїми наставниками, використовував наукову та експериментальну базу двох кафедр — мінералогії та хімії. Видатний польський вчений Юзеф Морозевич згадував, що починаючи з 1876 р. І. Лемберг опублікував цілий ряд досліджень, що відносились до утворення і розкладання силікатів. Роботи вченого вражали своєю незвичною точністю і широким геологічним значенням. В них були відображені багаточисленні реакції заміщення, приєднання та розкладання силікатів, досліджені за допомогою розробленого ним гідрохімічного методу (вплив водних розчинів солей на подрібнені порошки мінералу під дією тиску). Праці І. Лемберга склали нову епоху в історії хімічної мінералогії [Morozevich 1897: 2].

Вищезазначені дослідження були можливі завдяки сильним науковим позиціям університету в галузі хімії. Відмітимо 46-річну (протягом 1846–1892 рр.) педагогічну та наукову діяльність професора Карла Шмідта, з них 40 років він завідував хімічною лабораторією. До речі, вчений викладав виключно німецькою мовою. Хоча Ф. Ю. Левінсон-Лессінг і зауважив, що наукової школи у значенні особливого (вузького) направлення він не створив, бо своїм асистентам надавав повну свободу в їхній науковій діяльності. Однак у його лабораторії виникли видатні роботи у різних галузях хімії і в цьому йому не довелося пошкодувати. Учнями Карла Шмідта були вже відомий нам Іоган Лемберг, Густав Бунге (фізіолог, хімік) та фізико-хімік Вільгельм Освальд (про нього ми згадали вище). Були і інші учні [Levinson-Lessing 1902b: 246–248].

Однак на наукову школу можна дивитися інакше. Традиційно склалося так, що наукові керівники «керують», а їхні учні прагнуть, щоб ними «керували». Таких наукових керівників як Карл Шмідт, який лише у приватних бесідах з учнями міг надати ті чи інші, необов'язкові до виконання поради, завжди було і буде обмаль, як і учнів, яким надають повну свободу у науковій творчості. Разом з тим це також повноцінна наукова школа, яка продовжує існувати у науковому світі.

Нам важливо зрозуміти, що наукові ідеї Олександра Лагоріо загалом формувались завдяки високому науковому статусу, притаманному Дерптському університету. Свої спеціальні дослідження на ступінь доктора мінералогії та геогнозії «Порівняльно-петрографічні дослідження масивних гірських порід Криму» [Lagorio 1880a] він проводив як у мінералогічному кабінеті, так і в хімічній лабораторії університету. Вчений зазначив: «Дослідження гірських порід відбувалося щонайперше у мінералогічному кабінеті ... однак моєю метою також була хімічна лабораторія університету, де вивчалася велика кількість зразків. За це я висловлюю вдячність професору К. Шмідту. Також його помічнику доктору І. Лембергу» [Lagorio 1880a: 2].

Протягом 1880–1898 рр. вчений працював у Варшавському університеті і кілька разів обирався деканом фізико-математичного факультету [Reznikov 1956: 261].

## **2.2. Варшавський університет**

У Варшавському університеті Олександр Лагоріо створив мінералогічний кабінет разом із лабораторіями та музеєм. За свідченнями сучасників, лабораторії не поступалися аналогічним у Петербурзькому та Лейпцігському університетах. Щоб забезпечити високий науковий рівень музею та лабораторій, він спеціально їздив знайомитись з станом музейної справи у Петербург та в університетські міста Німеччини [Lagorio 1885].

Деякі уточнення з цього приводу залишив сам вчений. Влітку 1883 р. він побував у Берліні. В музеї університету познайомився із колекціями Гумбольдта. Особисто знайомиться з

відомими вченими, викладачами університету — мінералогом Вебським, петрографом Ротом, палеонтологом Дамесом. Придивляється до організації та роботи музею, до методики викладання геологічних дисциплін.

Потім був університет у Лейпцигу, де мінералогічним музеєм керував професор Циркель, якому петрографія зобов'язана розвитком та запровадженням мікроскопічного методу. Далі відвідав Вюрцбург та Гале. У Гейдельберзькому університеті зустрівся із засновником петрографії Гарі Розенбушем і відмітив його невеликі, але дуже змістовні колекції порід для практичних занять із студентами. Мінералогічний кабінет було обладнано багатьма найновішими приладами та великою кількістю гарних мікроскопів. Але головне багатство було зосереджене в чудових та повних колекціях гірських порід із всіх країн світу, притому розподілених за географічним принципом. Цінність такого зібрання полягала ще й у тому, що більша частина зразків була мікроскопічно досліджена і тому гірські породи були точно визначені [ibid.: 9].

Наведемо ще такий приклад. У травні 1889 р. на засіданні відділення фізики та хімії Варшавського товариства дослідників природи Олександр Лагоріо демонстрував велику модель нового мінералогічного мікроскопу [Lagorio 1889], який було придбано за його ініціативи до мінералогічного кабінету університету. Мікроскоп було виготовлено на підприємстві Р. Фюсса у Берліні та укомплектовано всіма новітніми удосконаленнями. Крім того, на тому самому підприємстві було виготовлено цілком новий апарат, за розробкою вченого і деталізованому відповідними спеціалістами. Апарат був призначений для вивчення законів поглинання світла у плеохроїстичних кристалах. Саме таке завдання було поставлено Олександром Лагоріо перед одним із своїх учнів — Ю. В. Вульфом.

Останній, випускник Варшавського університету 1885 р., ще у студентські роки, за позицією вченого, виконав свою першу наукову роботу по дослідженням кристалів дифеніл-параксилиметана. З 1892 р. він працював приват-доцентом і читав лекції по мінералогії, а з 1894 р. вів і практичні заняття із студентами у лабораторії професора Олександра Лагоріо [Pin 1940].

Однак, повернемося до мінералогічного кабінету Варшавського університету. На той час там було одне із найбільш досконалих у Російській імперії обладнання для мінералогічних досліджень. Відмітимо, що було виготовлено тільки дві моделі вищезазначеного мікроскопу (один екземпляр залишився у Німеччині).

Мікроскопічні дослідження у поєднанні з фізико-хімічними методами дозволяли збагачувати кристалографію новими відкриттями. Наприклад, у 1895 р. вчений досліджував деякі штучні силікати. Матеріалом слугували штучні силікати, отримані професором І. Лембергом у Дерптському університеті. З теоретичної точки зору, Олександру Лагоріо було важливо дослідити деякі силікати з рядів анальциму і левциту. Справа в тому, що кислі, основні та нормальні анальцими і левцити були отримані І. Лембергом, але не досліджені кристалографічно. Остання причина якраз і спричинила сумнів відносно тотожності штучно отриманих з мінералами природними. Ця прогалина була досліджена з максимально можливою точністю, при цьому були задіяні розчини різних кислот, нагрівання під мікроскопом тощо. В результаті було виявлено новий мінеральний різновид цеоліту, який мав зустрічатися і у природі. На честь одного із своїх учителів по Дерптському університету — професору І. Лембергу, вчений дав назву новому мінералу: лембергіт [Lagorio 1894-1895].

Одним з перших почав досліджувати процеси кристалізації магми та причини різноманітності вивержених порід. Роботи з цих питань [Lagorio 1887a, 1896-1897], принесли йому визнання серед вчених в усьому світі. У 1883 р. він знаходився на початках своїх надзвичайно важливих експериментальних досліджень, які випередили свій час і стали провісниками для розвитку хімічної петрографії. Слід зазначити, що свої власні дослідження у цьому напрямку проводив і авторитетний петрограф Гарі Розенбуш. Однак останній, на відміну від Олександра Лагоріо, керувався емпіричними методами досліджень. Вчений критикував хибне уявлення

Гарі Розенбуша відносно особливостей вмісту кремнезему у вулканічних породах. Наприклад, склоподібний залишок, на думку Гарі Розенбуша, кисліший, ніж виділення, а черга виділень пов'язана з їх кислотністю. Однак, таке уявлення не завжди підтверджувалося і тому не мало значення навіть емпіричного правила. Дослідження Олександра Лагоріо виявили, що у породах, які містять натрій і калій, силікати, що містять натрій викристалізуються раніше, ніж інші і мають більшу здатність переходити у кристалічний стан. Однак, як зазначив вчений, повне викладення отриманих результатів слугуватиме «матеріалом окремої праці, яка ще не закінчена і не дозріла до друку» [Lagorio 1885: 6].

Праця побачила світ у 1887 р. [Lagorio 1887a]. Учень Олександра Лагоріо, видатний польській геолог Юзеф Морозевич так характеризував її:

*«В цій роботі, яка складає основу для хімічної петрографії в майбутньому, указано раціональний шлях, завдяки якому повинні вирішуватися питання генетичні, пов'язані з процесами кристалізації вивержених гірських порід. Лагоріо вперше указав на те, що магма — це розчин визначених силікатів у невизначених співвідношеннях і що розчин цей, кристалізується, підлягає тим самим фізико-хімічним законам, які правлять кристалізацію водного розчину кількох солей. Найважливішими моментами, які правлять виділенням мінералів з магми, слугують, за Лагоріо, хімічна спорідненість основ і хімічна дія мас. Що ж торкається порядку виділень, то він суттєво залежить від здатності мінералу утворювати перенасичені розчини при даній температурі та тиску...»* [Morozevich 1897: 4].

Працю високо оцінив Ф. Ю. Левінсон-Лессінг. Він відмітив, що вона одразу перевела питання про послідовність виділення мінералів з магми і про кристалізацію останньої на ґрунт хімічних та фізико-хімічних законів і являє собою «одну з окрас російської петрографії» [Levinson-Lessing 1950: 64–65]. Також характеризував її як провісника фізико-хімічного напрямку у петрографії [Levinson-Lessing 1936: 15].

У петрографії збереглося поняття про правила Розебуша і Лагоріо — обидва стосуються процесів диференціації магми. В свій час правила вважались непохитними (правило Розенбуша виявилось загальноприйнятим), однак із розвитком петрографії погляди змінилися. Оминаючи подробиці цих правил звернемо увагу на те, що у 1961 р. А. Н. Заварицький критично розглянув ці правила і встановив, що «...саме головне виключення з правил Розенбуша і Лагоріо у відношенні порядку ідіоморфізму являють собою породи діабазової або офітової структури, в яких плагіоклаз ідіоморфний до авгіту» [Zavaritsky 1961: 59].

Ми торкнулися цих правил не тільки аби підкреслити першість Олександра Лагоріо у питаннях експериментального вивчення процесів диференціації магми, а й для того, щоб звернути увагу на завжди актуальне питання щодо дотримання етики у наукових дослідженнях. Справа в тому, що Гарі Розенбуш використав деякі ідеї вченого, не посилаючись на них. Так, Олександр Лагоріо навів такий приклад. Свою попередню думку про розклад магми на мінерали в залежності від вмісту кремнезему, Гарі Розенбуш покинув і почав вважати, що розкладання магми залежить від взаємного відношення металевих частинок. Однак, цю думку Олександр Лагоріо висловив у 1887 р. [Lagorio 1887a], а пізніше вказав, що Гарі Розенбуш не вважав за потрібне вказати, звідки він запозичив її, хоча і знав про це [Lagorio 1890: 2]. Своє правило Гарі Розенбуш остаточно сформулював у 1898 р. [Rosenbusch 1934]. Разом з тим, ідеї-попередниці були ще і раніше, інша річ, що інколи вчені не завжди посилаються на такі ідеї, видаючи їх за власні.

Засновник петрографії Гарі Розенбуш вніс величезний внесок у розвиток описової петрографії [Markushev 1987], в той час, як Олександр Лагоріо ми завдячуємо створенню якісно нового — експериментального, фізико-хімічного напрямку.

В публікаціях вченого часто знаходимо різні думки, міркування, ідеї, які виходять за межі конкретної публікації і стосуються загальних, теоретичних проблем розвитку земної кулі.

Наприклад, він підкреслив, що умови та розвиток органічного життя створювались цілковито неорганічними процесами, а «... точне встановлення їх перебігу може надати нам повну та правильну картину розвитку нашої планети. Ці процеси підпорядковані законам фізики та хімії і тому вивчення їх немислиме без застосування експерименту» [Lagorio 1890: 2].

Відзначимо статтю «Вивчення горотворчих процесів і мінералогія» [Lagorio 1891]. У якості доповіді вона була зачитана на річних загальних зборах Варшавського товариства дослідників природи при Варшавському університеті. Вчений критично розглянув існуючі численні гіпотези і теорії щодо походження рельєфу Землі, розподілу суші та моря тощо. Зокрема аргументовано довів, що теорія Гумбольдта про підняття вулканічних кратерів і утворення гір виявилась «помилковою» [іbid.: 14]. Сформулював проблему у кристалографії, яка не розв'язана і в наш час. Спочатку відмітив, що кристалографія перейшла від геометричного, вимірювального характеру до з'ясування фізичних властивостей кристалів. Але ще цікавіший зв'язок між їхньою фізичною та хімічною будовою, однак він «...ще зовсім темний і ми поки що навромацьки робимо в цьому напрямку тільки перші кроки. А між іншим тільки через ці двері можна буде підступити до розкриття темної ще області законів молекулярних явищ та з'ясувати будову матерії» [іbid.: 19]. Далі вчений висловив думку, що не можна говорити про те, що мінералогії вже немає, а тільки фізика і хімія. Безперечно, мінералогія і кристалографія являють собою тільки застосування фізики та хімії до групи наук, що вивчають молекулярні явища. Ведучи мову про самостійність геології, підкреслив високій рівень її розвитку і збереження самостійності. При цьому вона не розчинилась у мінералогії та кристалографії, а здобула нову якість. Погляд на розвиток геології переніс і на біологічні науки, самостійність яких ніби більш очевидна, однак таке положення існує тільки тому, що біологи далекі від цілі пояснення процесів законів фізики та хімії [іbid.: 20]. Дійсно, завдяки розвитку петрохімії, фізико-хімічних досліджень у галузі мінералогії, геологія випереджала біологію, бо в той час мало хто звертав увагу на те, що для пояснення еволюційних процесів теж необхідно опиратися на фізико-хімічні закони.

На еволюцію, обумовлену внутрішніми фізико-хімічними силами, притаманними живій речовині, у середині 20 ст. звернув увагу видатний український та австралійський вчений С. Я. Парамонов у створеній ним теорії хемогенезу — докладна інформація по цьому питанню відображена у нашій статті [Mikhalenok 2023]. Наведений паралельний приклад лише підкреслює, що у широкому розумінні пояснення виникнення життя на планеті Земля, завжди було і буде надалі актуальним залучати у дослідження найновіші досягненнями фізики і хімії для ужитку їх у геології та біології.

Особливу увагу приділяв застосуванню експериментальних методів у геології, при цьому активно впроваджував їх у практику своїми дослідженнями стосовно диференціації магми. Втім, більшість геологів вважала дослід передчасним і тому у геології переважав історичний напрямок, притому односторонній — заснований на палеонтологічному принципі. Вчений наступним чином бачив розвиток геології: «Ідеальна ціль геології — це встановлення у кожний окремих минулий момент життя Землі її фізико-географічного стану і причину його у широкому розумінні, а не тільки флори і фауни земної кулі. Досягнути цієї цілі геологія зможе тільки вивчаючи у подробицях всі процеси неорганічної природи, а це можливо тільки з допомогою експериментальних методів. Адже цими фізико-хімічними процесами створювались і умови життя організмів. З цієї точки зору, простий геологічний дослід має більше наукове значення, ніж геологічна зйомка цілої широкої області. Тому я наважуся, всупереч усім протиріччям, сміливо висловити думку, що майбутнє безумовно належить ... досліді та експериментальній геології» [Lagorio 1891: 23]. Однак консервативність у науці в цілому, все ще стримує досягнення «ідеальної цілі геології».

Піонером у галузі експериментальної геології був француз Огюст Добре (1814-1896), за визначенням вченого — «один із найвидатніших геологів нинішнього століття» (стаття «Пам'яті

Добре») [Lagorio 1895–1896: 1]. Він, зокрема, працював над синтезом мінералів. Загалом вважав, що геологія повинна стати експериментальною наукою з застосуванням законів фізики та хімії. Однак у своїй основі повинна опиратися на спостереження та міркування [ibid.: 3]. Не важко помітити, що Олександр Лагоріо був його послідовником.

Наукові погляди вченого трансформувалися у діяльності його учнів, у створенні власної наукової школи.

### 2.3. Наукова школа

Наукова школа Олександра Лагоріо побудована, переважно, на прикладі наукової школи хіміка К. Шмідта у Дерптському університеті. Вище ми зазначили, що особливість такої школи полягає у свободі вибору учнями власного напрямку досліджень. Тому наукову школу Олександра Лагоріо можна охарактеризувати як таку, в якій задіяні різні напрямки геологічних досліджень і ці напрямки об'єднує спільний погляд на широкі можливості геології у поясненні причин, а не наслідків тих чи інших геологічних процесів.

Відмітимо наступне. Традиційно звертають увагу на те, що в галузі експериментальної мінералогії та петрографії вчений створив свою школу синтетиків (інші напрямки не згадуються). За його почином виконані праці К. Козеровського, Юзефа Морозевича, студентів Миклашевського та Феліціана-Северина Дутковського [Chirvinsky 1903–1906: 423].

Відмітимо найбільш відомого представника цієї школи Юзефа Морозевича, якого в свій час характеризували як видатного російського вченого [Bezborodov & Zhunina 1951]. Підкреслимо, що дослідження Олександра Лагоріо у питаннях диференціації магми були отримані аналітичним шляхом [Lagorio 1887a]. Подальший розвиток його ідей відбувався в дослідженнях Юзефа Морозевича вже експериментальним шляхом, розпочатим наприкінці 1891 р. Результати робіт були опубліковані у Варшаві окремою книжкою з назвою: «Досліди над утворенням мінералів у магмі. Експериментальне дослідження» [Morozevich 1897]. Ця робота, як і вищезгадана праця Олександра Лагоріо [Lagorio 1887], була високо оцінена Ф. Ю. Левінсон-Лессінгом і також визнана «однією з окрас російської петрографії» [Levinson-Lessing 1950: 65]. Аналітичну частину досліджень Юзеф Морозевич проводив у мінералогічному кабінеті університету. Однак експериментальні були виконані протягом п'яти років на склоплавильному заводі Таргувек біля Праги (район Варшави). За свідченням вченого, директор заводу Володимир Лесинський всебічно сприяв проведенню дослідів [Morozevich 1897: II].

Відзначимо, що Олександр Лагоріо надавав перевагу формуванню самостійних теоретичних і практичних ідей у свого учня. За такий підхід у керівництві наукової роботи учень щиро дякував своєму вчителю: «Початкова ініціатива роботи належить моєму вельмишановному вчителю, професору-академіку О. Є. Лагоріо, який весь час не припиняв живо цікавитися нею та надавав мені постійно моральну підтримку при її виконанні, за що я складаю йому тут мою сердечну подяку» [ibid.: I]. На честь свого вчителя Юзеф Морозевич назвав отриманий ним експериментальним шляхом гранат лагоріолітом [ibid.: 155].

Кілька слів щодо Юзефа Морозевича. У відновленій 1918 р. польській державі він організував Державний геологічний інститут і протягом 1919–1937 рр. був його директором. Діяльність інституту мала не тільки загальнопольське, а й світове значення [Biletskyi & Shpilevoy 2006: 66].

Згадаємо ще одного учня — Юрія (Георгія) Вікторовича Вульфа (1863–1925). Ще у студентські роки, навчаючись на фізико-математичному факультеті Варшавського університету, він виконав свою першу наукову роботу у галузі кристалографії. У 1892 р. отримав ступінь магістра мінералогії та геології і був призначений приват-доцентом. Проводив практичні заняття з кристалографії в лабораторії Олександра Лагоріо та читав лекції з цього ж предмету [Шпін 1940: 188–189]. Він був першим кристалографом в СРСР. Загалом науковій діяльності була притаманна широта поглядів та багатогранність. Наприклад, він вивчав спільні закони, які керують формою кристалів та рослин [ibid.: 194].

Завдяки листу Олександра Лагоріо до В. І. Вернадського від 30.12.1893 (з мінімальними купюрами публікуємо нижче) ми дізналися ще про одного учня — Соболева, який був асистентом вченого. Наші пошуки виявили двох людей з прізвищем Соболев (Микола Миколайович та Дмитро Миколайович) і обидва вони в різні роки причетні до Варшавського університету, до школи Олександра Лагоріо. Відомостей про асистента Соболева дуже мало. Вірогідно, це був Микола Миколайович Соболев. Він згадується у списках дійсних членів Варшавського товариства дослідників природи (за 1896 р.) по відділенню фізики та хімії разом з О. Є. Лагоріо, І. А. Морозевичем та Ю. В. Вульфом. Місцем його перебування зазначене місто Кострома [Amalytsky 1896–1897: 2–8]. Додаткові пошуки поки що не надали нам матеріалу для з'ясування особистості М. М. Соболева, тому будувати припущення ще зарано, хоча вони, на перший погляд, очевидні (однакове прізвище по батькові, місто Кострома, до якого обидва причетні...). В листі, скоріше всього, йдеться саме про М. М. Соболева.

Особистість другого, молодшого Соболева відома, але дещо призабута. Це Дмитро Миколайович Соболев (1872–1949). У 1894 р. він закінчив духовну семінарію у Костромі, а у 1895 р. поступив на фізико-математичний факультет Варшавського університету, який закінчив у 1899 р. із золотою медаллю. Наукову роботу розпочав ще на третьому курсі університету — вивчав тектоніку та стратиграфію Келецько-Сандомирського кряжу у Польщі. Його вчителями, окрім Олександра Лагоріо, були Ю. В. Вульф та відомий геолог, палеозоолог В. П. Амаліцький. Після закінчення університету працював лаборантом на кафедрі геології і мінералогії Варшавського політехнічного інституту [Karyakin 1972: 125].

У 1911 р. захистив у Московському університеті дисертацію на ступінь магістра мінералогії та геогнозії на тему «Середній девон Келецько-Сандомирського кряжу». Опонентом був відомий геолог О. П. Павлов. Від 1914 р. і до 1949 р. працював завідувачем кафедри геології Харківського університету. Його сучасники згадували: «Через усю наукову діяльність Д. М. Соболева червоною стрічкою проходить думка про закономірності у геологічних процесах, пошуки закономірностей в історії Землі, у формуванні її структури, надр та історії органічного світу. Не всі ці роботи були вдалим, не всі були визнані, але тим чи іншим чином вони відіграли позитивну роль у розвитку вітчизняної науки, вони змушували шукати нове та знаходили і знаходять відгук у ряді новітніх робіт» [Savich-Zabolotsky *et al.* 1949: 242–243]. До невизнаних у СРСР, через антидарвіністичні погляди, належить, наприклад, робота вченого, яка привертає увагу дослідників і в наш час — «Початки історичної біогеетики» [Sobolev 1924]. Автор розглядає пропонувані ним закономірності біогенезу (досить дискусійні, тому і наштовхують на пошук нового) у процесі еволюції. Посилається, зокрема, на ідеї одного із своїх вчителів — В. П. Амаліцького. До речі, копія скелету скутозавра (*Skutosaurus Karpinskii*, рік не вказано, зазначено: наприкінці 19 ст.), виявленого В. П. Амаліцьким на берегах річки Мала Північна Двіна та оригінальний череп зберігаються у Національному науково-природничому музеї Національної академії наук України (другий поверх, вітрини 28, 30). Також фотопортрет Д. М. Соболева можна побачити серед інших фотопортретів українських палеонтологів, представлених у музейній експозиції при підйомі на другий поверх.

У листі бачимо щире клопотання Олександра Лагоріо допомогти своїм учням. Власне він і просить В. І. Вернадського надати їм протекцію. Особливо піклується про поляка Юзефа Морозевича, який через своє походження може відчувати себе ізольованим. Торкається питання щодо незадовільного розвитку мінералогії у Російській імперії. Також дізнаємося про його знайомство з відомим російським геологом — О. П. Павловим (передає йому свій уклін). В цілому лист додає інформацію, яка може зацікавити біографів всіх, згаданих у листі осіб.

*«Милостивий пане. Вельмишановний Володимире Івановичу! Користуюся нагодою, щоб послати Вам щирий привіт і [побажання] успішних робіт на з'їзді, і в той же час висловити моє щире співчуття з приводу того, що я особисто не можу бути присутнім і брати участь у роботі з'їзду. [...]. Посилаю Вам моїх двох пташенят, консерватора кабінету*

*Морозевича та асистента Соболева з уклінним проханням надати молодим людям деяке заступництво. Мій учень Морозевич, як поляк, почуватиметься, можливо, трохи ізольованим, тому Ви зробите добру справу, якщо познайомите його з деякими з Ваших молодих людей. Він украй скромна, але дуже серйозна і обізнана людина. Третій мій вихованець, нині наш приват-доцент Вульф, Вам добре відомий, також не може з'явитися, бо очікує днями поповнення родини. Надсилаю Вам у секцію вимогу, сподіваючись, що вона буде обговорена нею. [...]. Тисну Вашу руку і залишаюся Вам відданим і готовим до послуг. А. Лагоріо. Варшава, 30 грудня 1893 р.»*

(Лист зберігається в Архіві РАН, фонд 518, оп. 3, спр. 918, арк. 1-1 зв.).

В листі йдеться про ІХ з'їзд російських природознавців та лікарів, який відбувся у Москві з 3 по 11 січня 1894 р. Приват-доцент Московського університету В. І. Вернадський входив до складу розпорядного комітету з'їзду, Головою якого був К. А. Тимірязєв. Завідуючим секцією мінералогії та геології був професор О. П. Павлов.

На засіданні секції мінералогії і геології, що відбулось 5 січня, Юзеф Морозевич зробив цікаву доповідь: «Про штучне відтворення деяких мінералів і гірських порід» [Morozevich 1894]. При цьому він демонстрував зразки гірських порід, які було синтезовано на вищезгаданому склоплавильному заводі Таргувека. Можливо, такі породи були отримані вперше і вперше демонструвалися (спеціально дане питання ми не досліджували). Також підкреслив, що за два роки провів 200 дослідів з синтезу вивержених гірських порід та мінералів завдяки матеріальній підтримці власників заводу. На з'їзді він представив широкому науковому загалу перші результати своїх досліджень, які були завершені у 1897 р. і які ми коротко розглянули вище [Morozevich 1897].

На сторінках матеріалів з'їзду знаходимо списки його учасників від Варшавського університету і бачимо імена геологів Олександра Лагоріо, Ю. В. Вульфа, у якості зоолога зазначено професора В. П. Амаліцького. Також зазначено мінералога Миколу Миколайовича Соболева, що мешкав у Москві на вулиці Великій Олексіївській у будинку 27 [Zernov 1894: 30]. Чи був він асистентом у Олександра Лагоріо? Маємо надію в майбутньому прояснити це питання.

Наукові погляди Олександра Лагоріо формувалися і при багаторічних дослідженнях магматичних гірських порід в Криму.

### **3. Дослідження магматичних порід Криму**

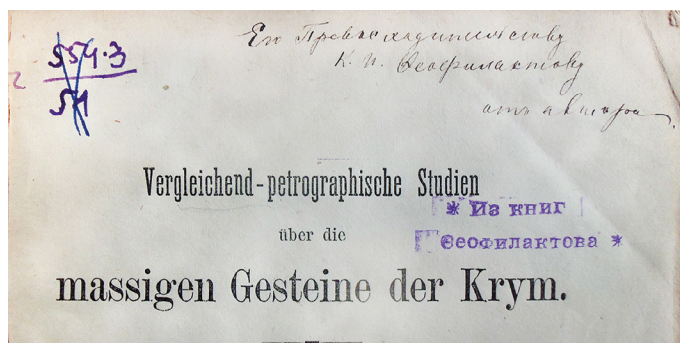
В Криму вчений працював протягом 21 року (1877–1897 рр.) під час літніх університетських ваканцій. Звичайно, були і перерви в дослідженнях. Нижче коротко, вибірково, розглянемо початок, особливості і основні результати досліджень.

У 1879 р. з 20 по 30 грудня в Санкт-Петербурзі відбувся VI з'їзд російських природознавців та лікарів. Головував на з'їзді А. М. Бекетов, а почесним Головою був К. Ф. Кеслер. З Дерптського університету на з'їзді був вже знайомий нам професор К. І. Гревінгк та інші. Були присутні відомі вчені: Д. М. Анучин, М. О. Головкинський, М. Є. Жуковський, О. О. Іностранцев, О. П. Карпінський, Д. І. Менделєєв, К. М. Феофілактов та інші. Олександр Лагоріо знайомиться з засновником київської школи геологів К. М. Феофілактовим. Також відмітимо знайомство з М. О. Головкинським, товариські дружні відносини з яким продовжувались багато років.

Згодом подарував К. М. Феофілактову свою роботу «Порівняльно-петрографічне дослідження масивних гірських порід Криму» з дарчим надписом: «Його високоповажності К. М. Феофілактову від автора» (рис. 3).

На той час Крим почав привертати увагу багатьох науковців. Заслужений професор К. Ф. Кеслер запропонував скласти зразковий природно-історичний опис півострова і цю пропозицію було прийнято [Inostrantsev 1880: VIII]. Для Олександра Лагоріо, уродженця Криму, це був певний додатковий поштовх у його дослідженнях.

На з'їзді він виступив з доповіддю «Про кристалічні породи Криму» [Lagorio 1880b]. Підкреслив суперечності щодо класифікації кристалічних порід загалом. На його погляд, породи Криму належали до діабазів крейдового та юрського віку, а також діоритів та мелафірів. Особливу увагу приділив виверженим породам крейдового віку, оскільки крейдовий вулканізм маловідомий. До таких порід він відніс породи, що зустрічаються біля монастиря святого Георгія і назвав їх палеотрахітами. Їхній вік співпадав, на думку вченого, з осадовими відкладами неокому. Також були вивчені породи у долинах рік Альми, Бодрака та Салгиру. Гірські породи були хімічно розкладені та мікроскопічно вивчені. Надалі планував приступити до хімічних та фізичних дослідів, які нададуть остаточну відповідь на питання про генезис кристалічних гірських порід [Lagorio 1880b: 299]. Вчений, по суті, презентував своє наукове дослідження, яке було завершено у другій половині 1880 р. у Дерптському університеті.



**Рис. 3.** Дарчий надпис Олександра Лагоріо ректору Київського університету К. М. Феоділактову на титульному листі своєї роботи «Порівняльно-петрографічне дослідження масивних гірських порід Криму». Книга зберігається у науковій бібліотеці Інституту геологічних наук НАНУ.

**Fig. 3.** Inscription by Oleksandr Lagorio to the rector of the University of Kyiv K. M. Feofilaktov on the title page of his work 'Comparative Petrographic Study of Massive Rocks of the Crimea.' The book is

stored in the scientific library of the Institute of Geological Sciences, NAS of Ukraine.

Йдеться про роботу «Порівняльно-петрографічне дослідження масивних гірських порід Криму» [Lagorio 1880a] на ступінь доктора мінералогії та геонозії. У передмові вчений зазначив, що влітку 1877 р. він об'їздив Крим для ознайомлення з його географією і щоб викласти результати спостережень та досліджень геотектоніки та геологічних особливостей півострова. Попередньо були вивчені гірські породи Криму за музейними зразками Дерптського університету. Вище ми зазначили, що хімічні дослідження порід були проведені в університетській хімічній лабораторії, яку очолював професор К. Шмідт.

Олександр Лагоріо перший звернув увагу на геотектонічну проблематику Криму та його складчасту будову. Він виділив три розломи. Перший проходив по гірським вапняковим масивам верхньої юри: райони Бабуган, Чатирдаг, Демерджи та інших яйл. Паралельно проходив другий, межі якого співпадали з крутими схилами неокомських відкладів. Обидва розломи, на його думку, були з'єднані третім, поперечним, менш значним, який проходив на південний захід від гори Кастель на південному березі до села Кобози у долині річки Альма. З певним припущенням, всі три розломи виникли в один і той самий геологічний час. У якості підтвердження навів приклад того, що породи в районі Феодосії і Карадагу пробиваються через шари вапняку, що відносяться до верхньої юри, а це означає, що вони виникли раніше цих відкладів [ibid.: 22–23]. У роботі представлено детальну хіміко-мінералогічну характеристику гірських порід.

Також було відмічено, що відклади лейасу з численними тріщинами, складками та деформаціями залягають вертикально, тоді як розміщені частково просто на них верхньоярські вапняки залягають моноклінально з падінням 40–45° на північний захід. Ці вапняки утворюють верхню частину кримської яйли [ibid.: 22].

Критично до поглядів вченого поставився його сучасник, гірничий інженер А. В. Яковлев у двох своїх працях: «Про характер кристалічних гірських порід Кримського півострова» [Yakovlev 1881] та «До питання про походження кримських кристалічних порід» [Yakovlev

1882]. Критика і конструктивна, і суперечлива, місцями потребує прискіпливого аналізу у питаннях щодо тогочасних петрографічних підходів при характеристиці гірських порід. Наприклад, А. В. Яковлев вказує, що Олександр Лагоріо виділив у Криму ліпарит, базальт, мелафір, андезит, лейкофір, порфірити для досить обмеженого періоду— неокому [Yakovlev 1881: 69]. При цьому сам виділив всього дві основні породи — діабазити та порфіри [ibid.: 48–59]. Також А. В. Яковлев торкається багато в чому не вирішеного в той час питання щодо мікроскопічного аналізу кристалічних порід. Однак з А. В. Яковлевим можна погодитися в тому, що час виникнення кристалічних гірських порід важко віднести до однієї певної геологічної епохи (у нашому випадку до неокому). Власних пропозицій щодо вирішення досить складного питання про час утворення лаколітів він не надав, а висловив думку, що вирішувати це питання будуть майбутні дослідники [Yakovlev 1882: 256].

Для нас важлива оцінка власної роботи самим вченим: «... Я вперше вказав на особливий інтерес і майже вирішальне значення як для систематики, так і для з'ясування геологічної ролі масивних порід взагалі. ... [Вивчав] гірські породи, вивержені в мезозойську еру або, правильніше мовити, інтродувані у мезозойські відклади.... [Ці] породи відносно рідкісні і являють собою перехідні типи від порід так званих «древніх» до «юних», наближаючись однак більше до типу «древніх», тобто інтрузивних. Також мною було вказано на те, що вони дійсно являють собою змішані типи, які не можна з упевненістю віднести ні до одної, ні до іншої з головних категорій. Це видно з того, що погляди різних дослідників суперечать один одному» [Lagorio 1887b: 7].

У 1883 р., з 18 по 28 серпня в Одесі відбувся VII з'їзд російських природознавців та лікарів [Mechnikov 1883]. Вчений приймав участь у його роботі, кілька разів головував на засіданнях секції мінералогії та геології. На засіданні секції від 24 серпня у своєму виступі відмітив, що вважає виверження загалом як наслідок підняття, а не причину його і пояснив підняття Кримських гір наслідком бічного тиску [ibid.: 2] (мав на увазі тангенціальний).

Після завершення з'їзду, його учасники на пароплаві рушили на екскурсію до Криму. Остання була майстерно складена М. О. Головкинським і була розрахована на 8 днів з відвідуванням найбільш значущих у геологічному і пізнавальному відношеннях місць Криму. Деталі про кримську екскурсію знаходимо у роботі Олександра Лагоріо [Lagorio 1885] (можливо, екскурсія відноситься до першої наукової екскурсії у сфері внутрішнього наукового туризму в Криму). Дізнаємося про результати досліджень щодо проблематики номенклатури гірських порід у застосуванні до Криму. Так, згідно загальноприйнятій номенклатурі, породи біля монастиря святого Георгія не можна відносити до трахітів, бо вони старіші за еоценові відклади, що їх перекривають, крім того, вчений вважав, що ці породи являють собою перехідний тип і мають нетипову структуру, яка властива перехідним типам. Також ці породи не можна долучати і до ортоклазових порфірів. Тому позначив їх мезоліпаритами, або мезотрахітами у зв'язку з їх нетиповістю та належністю за часом виверження до початку крейдового періоду. Доцільність такого відділення масивних порід крейдового віку і до певної міри всіх мезозойських порід від порід палеозойських та палеоген-неогенових, на думку вченого, слугуватимуть аргументацією у дослідженнях подібних вивержень крейдового періоду у інших місцевостях. Такі дослідження були відомі і лише підтверджували його погляд [Lagorio 1885: 15–16].

Вже в кінці екскурсії він приймав участь у сходженні на гору Кагель біля Алушти, а потім, коли всі роз'їхалися, ще на кілька днів залишився на дачі М. О. Головкинського. Скориставшись його гостинністю, Олександр Лагоріо ознайомився з деякими подробицями геологічної будови гори Кагель [Lagorio 1885: 18]. На початку вересня повернувся до Варшави.

Подальші дослідження у Криму висвітлені у роботі «До геології Криму. Про деякі масивні гірські породи Криму та їх геологічну роль» [Lagorio 1887b-c]. Відмітимо відкриття біля Балклави гранітних валунів, яких попередні дослідники не помічали. Він дотримувався своєї концепції щодо належності порід Криму до мезозою і вік гранітів визначив як прикордонний

юрсько-крейдовий [Lagorio 1887b: 14–16]. Однак, пізніше виявилось, що граніти не утворюють корінного залягання, як вважав вчений.

Олександр Лагоріо звернув увагу на різноманітні та цікаві зразки порід Карадагу. Наводить приклад залягання однієї із жил, що знаходиться у верхів'ї яру, який опускається із Карадагу на південь по напрямку до річки Отуз. Ця жила мала вирішальне значення для з'ясування геологічного віку цих порід. Він відмітив: «*Порода прориває верхньоюрський вапняк (він лежить вище сланців) і у місці контакту змінила його. Він [вапняк] зробився по сусідству з нею пористим, твердим, отримав червонуватий колір, наповнений мікроскопічними зернами кварцу і містить окремі кристали плагіоклазу. Це відслонення важливе тому, що безумовно доводить, що масивні породи виступили після відкладення вапняків, чого до сих пір не вдавалося довести так безумовно*» [Lagorio 1887c: 24].

Вчений пишався тим, що перший вказав на існування і необхідність встановлення в Криму особливого типу вивержених порід лаколітового типу (гіпабісальних). Підкреслив, що всі вони мають одну загальну рису, яка полягає у їх схильності до метаморфізації та вивітрювання [Lagorio 1887b: 10–11].

В липні 1893 р. він вперше знайшов у Криму кристалічні сланці [Lagorio 1895]. Знахідка була підтверджена і з боку М. О. Головкинського (Олександр Лагоріо цінував думку свого товариша). Різні типи кристалічних сланців були знайдені біля Карасубазара (Білогірська), у верхній частині долини річки Карасу, та в інших місцях. Підкреслив, що у північній частині Добруджі знайдено породи, аналогічні кримським: осадові, кристалічні сланці та вивержені. Крім того, вказав на аналогію у тектоніці і зробив цілком вірний висновок: «...геологія і тектоніка Криму стане тільки тоді цілком зрозумілою, коли, не кажучи вже про Кавказ, нам буде відома детальна будова Добруджі» [ibid.: 6].

На західному схилі Аюдагу у 1897 р. виявив нову гірську породу і дав їй назву на честь Криму — тавріт [Lagorio 1897b: 5–6]. Хоча, ще у 1887 р. у тому самому місці (біля Артеку) він вперше знайшов невідому гірську породу, яку характеризував як псевдосферолітову з агрегатною поляризацією [Lagorio 1887c] (на той час назви породи ще не було). Після додаткових уточнень і виникла нова назва породи — тавріт. Остання наближається до кераатофірів і являє собою гранофірові або сферолітові натрові ліпарити. Крім Аюдагу, ці породи входять до складу масивів Серагос, Ай-Йорі та інших в околицях Алушти. Звичайно вони розміщуються у крайових місцях диференційованих масивів південного берегу Криму [Luchytsky & Kuznetsov 1936: 170].

Появу вивержених порід в Криму Олександр Лагоріо цілком слушно відносив до процесів горотворення. Він зазначив: «Утворення великої складки або зламу внаслідок бічного тиску [тангенціального] паралельно теперішньому південно-східному узбережжю Криму та осідання місцевості, яку тепер займає Чорне море... було причиною вторгнення магми у вже існуючі юрські відклади» [Lagorio 1887c: 41]. Він мав на увазі суцільну гряду верхньоюрських рифів, яку позламували магматичні породи і в подальшому під впливом розмиву та денудації відбувалось формування сучасного рельєфу. Згідно такої концепції, існуючи у Криму яйли: Бабуган, Чатирдаг, Демерджі, Тирке та інші являють собою вцілілі залишки суцільної гряди рифів [ibid.: 43].

На вулканічну будову Карадагу звернув увагу у 1891 р. О. О. Прозоровський-Голіцин. Він відмітив відмінність Карадагу від лаколітів південного берегу Криму, встановив, що більша частина Карадагу складена із уламкових порід: туфів, конгломератів, брекчій. Також дослідив масиви і дайки вивержених порід. Надав короткий опис петрографічних особливостей та мінералогічного складу порід. Кілька разів посилався на дослідження Олександра Лагоріо. Вказав, зокрема, що «...Карадаг відрізняється від всіх відомих кристалічних гір [правильніше вулканічних масивів] в Криму (за виключенням невеликих виходів біля Георгієвського монастиря, де професор Лагоріо знайшов туф) тим, що тут розвинуті уламкові вулканічні породи в

доволі великій кількості і різноманітності, що характеризує цю гору як залишок справжнього стратовулкану» [Prozorovsky-Golitsyn 1891: 230].

Ця робота була врахована Олександром Лагоріо у подальших дослідженнях Карадагу і він зробив значний крок уперед: окрім вже відомих уламків вулканічних порід, відкрив лавові потоки [Lagorio 1897b] (роботу детальніше розглянуто нижче).

Наукові дослідження Олександра Лагоріо по Криму можна розглядати у якості складової частини всіх його досліджень загалом. Серед останніх відомі експериментальні петрографо-мінералогічні, кристалографічні (Варшавський університет), петрографічні в Україні (Волинь), також у галузі хімічної геології та кольорознавства у Німеччині (1920–1944).

Сподіваємося, що з часом всі складові частини наукової діяльності вченого будуть об'єднані і ми набагато більше дізнаємося про його наукове надбання та непересічну особистість. Одним з умовних поштовхів для дослідників, мабуть, можна вважати Стіну Лагоріо в Криму, на Карадазі.

Загальну характеристику роботам Олександра Лагоріо по Криму надав видатний геолог-петрограф В. І. Лучицький: «Вже у 1880 р. О. Є. Лагоріо вказав на розвиток магматичних порід різного типу не тільки у приморському районі (в околицях Георгієвського монастиря), але також і північніше головної Кримської гряди — в районі Курців, Бодрака, Альми, Кобоз. Цінність як цієї роботи так і статей, опублікованих О. Є. Лагоріо в наступні роки (1887–1897) (зокрема, в путівнику до конгресу 1897 р.), полягає в тому, що у всіх цих роботах наводиться не тільки мінералого-петрографічна характеристика магматичних порід Криму, але й дається ряд точних хімічних аналізів, щоб полегшити встановлення споріднених відношень між різними породами Криму» [Luchytsky 1939: 4].

Додамо, що по місцях прояву магматичних порід, по слідах Олександра Лагоріо пройшло багато вчених. Вони прискіпливо придивлялися до кожного камінця, умов залягання порід, визначали їхній вік та геотектонічні особливості території і цим самим утверджували якісно нові, власні дослідження. Це вже був початок нових етапів геологічного дослідження Криму, розгляд яких не входив у наше завдання. Проте, вибірково згадаємо деяких вчених: О. К. Мейстера [Meister 1908], О. П. Зайцева [Zaytsev 1910], О. Ф. Слудського [Sludsky 1912], П. М. Чирвінського [Chirvinsky 1916], Ф. Ю. Левінсон-Лессінга [Levinson-Lessing & Dyakonova-Savelyeva 1933], В. І. Лучицького [Luchytsky 1939], М. В. Муратова [Muratov 1960], В. І. Лебединського [Lebedinsky & Makarov 1962].

На сучасному етапі геологічних знань, одна з точок зору на вік Карадазького вулканоплутонічного комплексу розглядає його вік як пізньоюрський-раньокрейдівий. При цьому виявлено тенденцію до наслідування протягом всього періоду магматичної діяльності [Dovgal *et al.* 1991]. Ревізією уявлень про вік магматичних порід геологічна наука завдячує концепції вітчизняного геолога Ю. М. Довгала про новітню Азово-Чорноморську синкліналь [Chebanenko *et al.* 1988] і наступні детальні палеовулканологічні реконструкції вулканічної групи Карадаг [Dovgal *et al.* 1991]. Дослідження проходили в умовах загальноприйнятого (канонізованого) погляду на середньоюрський вік карадазького вулканізму (така точка зору лишається актуальною і в наш час). Однак, орієнтиром для Ю. М. Довгала були погляди Олександра Лагоріо: «Наші уявлення про вік вулканітів Карадагу характеризуються чітко вираженою тенденцією до «омолодження» їхнього віку, наближенням до позицій О. Є. Лагоріо» [ibid.: 16].

Визначення віку Карадазького вулканомігматичного комплексу мало вплив і на визначення віку інших комплексів Гірського та Рівнинного Криму, зокрема у дослідженнях проблеми співвідношення магматизму з тектонікою [Radzivil & Radzivil 2006a].

Тут не місце розглядати деталі і проблематику геологічного віку вулканітів Криму, оскільки кожний прояв магматичних порід має свої вікові особливості. Відмітимо наступне. Вище було згадано про критику з боку А. В. Яковлева поглядів Олександра Лагоріо відносно віку всіх магматичних порід Криму, який він обмежив рамками верхньої юри-нижньої крейди.

Критика виявилася конструктивною. Наведемо лише один приклад. У результаті палеовулканологічних досліджень у Гірському та у Рівнинному Криму виявлено прояви вулканізму протягом всієї мезозойської ери, починаючи з тріасу і закінчуючи ранньою крейдою. Прояви крейдового вулканізму пов'язані з тектонічними процесами і виявлені на дні Чорного моря біля Карадагу та мису Фіолент. Загалом, вулканіти крейди, юри, тріасу залягають довкола одних і тих самих вулканічних центрів, що свідчить про успадкований характер крейдового вулканізму від тріас-юрського. Крім того, синхронність проявів крейдового вулканізму у північній та південній частинах Криму свідчить про наявність єдиного магматичного осередку [Kirikilitsa *et al.* 1985]. Бачимо величезні якісні зміни у поглядах на вік магматичних порід Криму. Разом з тим, на єдиний магматичний осередок свого часу вказав Олександр Лагоріо

Однією з найважливіших проблем геології, як і в часи Олександра Лагоріо, залишається проблема співвідношення магматизму з тектонікою. Звернемо увагу, що саме нею керувався вчений у своїх дослідженнях і без цієї ідеї могло і не бути вже згаданої вище мінералого-петрографічної характеристики магматичних порід та їх точних аналізів.

Вчений бачив унікальність Карадагу не тільки як геологічного об'єкту, але і як місцевості з надзвичайно мальовничими формами рельєфу, дивлячись на які людина поринає в особливий світ краси і величі природи. Можливо тому і вирішив включити Карадаг для демонстрації учасникам VII міжнародного геологічного конгресу, який проходив у Російській імперії у вересні 1897 р.; Олександр Лагоріо входив у організаційний комітет з'їзду. Разом з М. О. Головкинським було підготовлено спеціальний геологічний путівник. Крім того, вчені включили у путівник власні екскурсії у вигляді наукових статей — Олександр Лагоріо підготував екскурсію Карадагом [Lagorio 1897b] і разом з М. О. Головкинським Гірським Кримом [Golovkinsky & Lagorio 1897]. Обидві статті, як і путівник в цілому, вийшли друком на французькій мові.

Влітку 1896 р. Олександр Лагоріо та М. О. Головкинський два тижні подорожували у горах, ретельно готуючи екскурсійні маршрути. Восени відбулася повторна наукова подорож. Потім складали вищезгадані статті. Можливо, через таке навантаження у М. О. Головкинського посилилась існуюча хвороба серця. Через деякий час, 9 червня 1897 р. він помер у своєму маєтку, розміщеному біля гори Кастель. Пам'ять вченого вшанував Олександр Лагоріо у статті «Пам'яті М. О. Головкинського» [Lagorio 1897a]. Крім наукових інтересів, обох об'єднувала любов до Криму, витонченої літератури, живопису. Характеризуючи вченого, Олександр Лагоріо мимоволі показав і власні орієнтири: «Очима поета і художника він дивився і на природу і в цьому коренилась головним чином його гаряча любов до Криму, з його витонченими контурами гір, з його лазурним небом, з безкінечною розмаїтістю барв і тонів» [ibid.: 6].

Нижче ми у думках приєднаємося до наукової екскурсії Карадагом, яку провів для учасників міжнародного геологічного конгресу Олександр Лагоріо. Текст екскурсії було скорочено, але певна деталізація присутня з тим, щоб показати методологічні прийоми при побудові наукової екскурсії загалом. Слід пам'ятати, що Карадаг і увесь Гірський Крим були не тільки об'єктами геологічних досліджень, а назавжди залишилися у пам'яті вченого визначними, мальовничими творіннями природи.

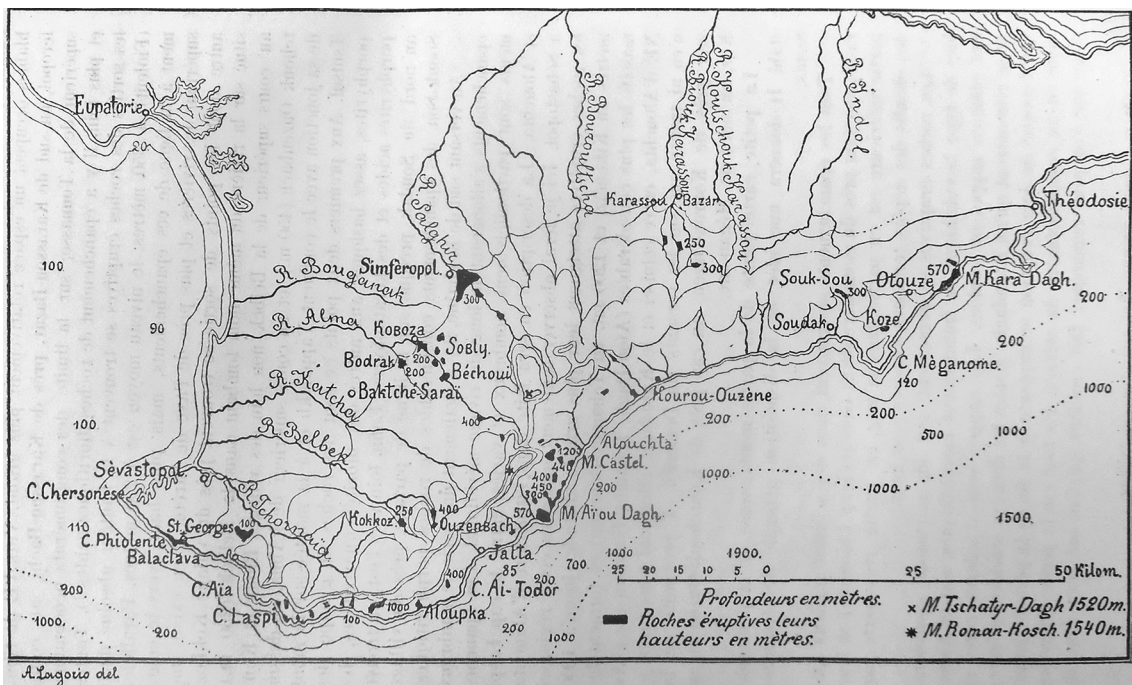
### **3.1. Стіна Лагоріо (геологічний маршрут Карадагом)**

У 1897 р. у путівнику до VII міжнародного геологічного конгресу була опублікована французькою мовою стаття Олександра Лагоріо «Геологічний маршрут Карадагом» [Lagorio 1897b]. З огляду на мову статті, вона не набула широкого наукового обговорення. Однак формальне посилання на неї зустрічаємо у багатьох публікаціях, присвячених питанням геологічної будови та віку Карадагу і Гірського Криму. Стаття не втратила наукового значення і в наш час, оскільки являє собою першу, надзвичайно високого методологічного рівня наукову екскурсію Карадагом. Також, крім загального опису окремих геологічних об'єктів, знаходимо петрографічний і мінералогічний опис гірських порід, їхній хімічний аналіз, що дозволило наступним геологам порівняти власні дослідження з дослідженнями Олександра Лагоріо. У роботі

вміщено першу геологічну (літологічну) кольорову карту Карадагу, що особисто виконана вченим (у масштабі приблизно 1:37000). Надалі карта слугувала геологам точкою відліку для побудови власних карт.

Крім того, наукова екскурсія Карадагом, разом з екскурсією Гірським Кримом [Golovkinsky & Lagorio 1897], яку також провів Олександр Лагоріо, являють собою своєрідний підсумок всіх 21-річних досліджень в Криму (1877-1897). Це прощання з Кримом, з улюбленим і загадковим Карадагом. Віртуальна участь в екскурсії Карадагом наближає нас до розуміння наукових здобутків вченого, алегорично втілених у Стіні Лагоріо.

У короткій передмові бачимо спочатку певний підсумок у дослідженнях в Криму. Вчений представив власноруч виконану карту проявів вулканічних порід Тавриди (рис. 4). Відмітив точкові, окремі прояви вулканічних порід на сході (Карадаг), на заході (мис Фіолент) і на півдні — півострів Херсонес. Далі показав, що між цими крайніми точками виходи вулканічних порід витягуються трьома більш-менш паралельними смугами на головному хребті: як на півночі так і на півдні. На північному схилі смуга починається з мису Фіолент, простежується до Балаклави, гори Госфорт, долини річок Бодрак, Альма, Салгир, далі йде на Курці і Карасубаші. Виходи порід знаходяться на висотах від 0 (мис Фіолент) до 350 м, а середній рівень становить 200 м. Паралельно, ближче до верхньої течії річок, проходить друга лінія. Починається біля Коккоз і далі простягається на Біюк-Узенбаш та Кучук-Узенбаш і до верхньої течії ріки Альма. Тут висоти проявів порід знаходяться в межах 250-450 м. Нарешті, третя лінія розтягнута вздовж південного узбережжя, де численні і різноманітні виходи знаходяться між Ласпі та Алуштою. Після Алушти виходи досить рідкі, вчений знайшов їх «...тільки на схилах Демерджи, поблизу моря (Куру-Узень, Кучук-Узень) і біля Коз, на північ від мису Меганом» [Lagorio



**Рис. 4.** Карта проявів вулканічних порід Тавриди (зменшена), 1897 р., за: [Lagorio 1897b: 4]. Умовні позначки. ■ — висоти вулканічних порід в метрах; x — гора Чатирдаг, 1520 м; \* — гора Романкош, 1540 м; Soudak — та інші назви французькою мовою; пунктирна лінія — ізобати.

**Fig. 4.** A map of outcrops of volcanic rocks of Taurida (reduced), 1897, after [Lagorio 1897b: 4]. Legend. ■ — heights of volcanic rock in metres; x — Mount Chatyr-Dag, 1520 m; \* — Mount Roman-Kosh, 1540 m; Soudak — and other toponyms in French; dotted line — isobaths.

1897b: 3]. На третій лінії вулканічні породи сягають своєї найбільшої висоти над рівнем моря (1000–1200 м). Для кожної лінії (смуги) була надана коротка петрографічна характеристика порід. Отже, вчений розглядав вулканіти Карадагу у контексті з усіма іншими вулканітами Криму.

Ця точка зору була прийнята і розвинута В. І. Лучицьким [Luchytsky & Kuznetsov 1936] на основі досліджень Олександра Лагорію, інших авторів та своїх власних. Він підкреслив закономірність у розміщенні вулканічних порід, пов'язану з тектонічними процесами і виділив на основі вищезгаданої карти (хоча у праці карта опублікована не була і в основному повторювався текст вченого) дві основні паралельні смуги: північну і південну, а між ними і слабо намічену середню лінію (у Олександра Лагорію ця лінія проходить від Коккоз до верхньої течії річки Альма). Далі проаналізував наявні хімічні властивості порід та вікові відношення між ними і вказав на спільне походження всіх вулканічних гірських порід Криму (підтвердив погляди вченого). Ці дослідження дозволили виділити одну петрографічну провінцію в Криму: від Севастополя на заході до Феодосії на сході [ibid.: 179].

В Криму вулканічні породи представлені у вигляді численних інтрузій лаколітного типу або справжніх лаколітів, у вигляді дайок, або у вигляді лавових покровів (вчений застосував термін скатертини). Покрови доволі рідкісні і трапляються тільки на Карадазі. Епоху вулканізму в Криму відніс до кінця юрського, або до початку крейдового періоду і підкреслив, що геологічний вік являє собою особливий інтерес (цей інтерес продовжує зберігатися).

З огляду на те, що породи розглядалися як відносно прості за структурою та складом, раніше вчений називав їх, з огляду на мезозойський вік, мезобазальтами (мелафіри), мезоандезитами (діорити) і таке інше. В цій роботі, для зручності, він віддав перевагу традиційним назвам, щоб допомогти читачеві краще орієнтуватися.

### **3.1.1. Карадаг**

Гора Карадаг, за описом Олександра Лагорію, висунута заокругленим мисом у море, складається з різних продуктів виверження, лав і туфів. Туфи формують головну вершину висотою 575 м над рівнем моря. Еродовані дайки простягаються у всіх напрямках і їхні гребні проходять над туфами та глинистими сланцями юрської системи. Ці сланці оточують Карадаг з північно-західного та південно-західного боків. Вони також спостерігаються в багатьох місцях на крутому схилі, відкритому до моря і утвореному виключно вулканічними породами. На захід від вершини сланці перекривають юрські вапняки, частково мармуризовані і утворюють круті схили величних вершин: Сари-Кая (506 м), Легенер (495 м), Ілакли-Кая (440 м) тощо<sup>2</sup>. На південний захід, у напрямку до річки Отуз, вапнякові скелі значно знижуються. Карадаг, підкреслив вчений, являє собою сильно еродований продукт древнього мезозойського вулканізму і заслуговує на велику увагу.

Кореспондент газети «Одесский листок» залишив короткий опис того, яким чином проходило знайомство світової геологічної спільноти з особливостями Чорного моря, з визначними місцями Криму. Переглянемо його замітку «Екскурсія геологів з дослідження Чорного моря та берегів Криму» [Navrotsky 1897a].

Щоб дістатися берегів Криму, учасники конгресу (165 геологів, в тому числі 8 жінок) вийшли на пароплаві з Батума 15 вересня. Було багато знаменитих європейських вчених: англійський геолог Муррей, професор університету у Лозані Ренов'є, лейпцигські знаменитості — петрограф Циркель та палеонтолог Циттель, відомі німецькі геологи, брати Рудольф та Герман Криднери, директорка геологічного інституту в Америці міс Флемінг; японці: директор геологічного комітету в Японії Кошибе та старший агроном Чунето та інші. Із видатних російських геологів брали участь у екскурсії: Голова VII міжнародного геологічного конгресу академік

<sup>2</sup> Уточнюючі назви для Сари-Каї та Ілакли-Каї, відповідно, такі: Сюрю-Кая та Ікилмак-Кая.

Карпінський (приєднався до екскурсії тільки у Севастополі), генеральний секретар конгресу академік Чернишов, професора Андрусов, Лагоріо, Фогт та інші.

На світанку 18 вересня «...геологи з'їхали на берег і відправились під керівництвом професора Лагоріо в екскурсію на Чорну гору. Це єдиний вулкан на Кримському півострові, в якому лава вийшла на поверхню, «прорвавшись», а решта [в даному випадку — прояви вулканічних порід] являють собою «не прорвані нариви», за виразом геологів» [ibid.: 2].

Далі продовжуємо подорожувати з Олександром Лагоріо. До гори Карадаг шлях вів по берегу з чарівними камінцями, з ароматами моря, потім до кордону берегової охорони [фр. *cordon* — в даному випадку берегова охорона і місце її базування; термін вживається у науковій, популярній та художній літературі по Карадагу] (Далі — кордон), де домішуються пряні запахи чебрецю, полину, сухих жовтих трав, потім кілька годин підйому по сірим сланцям і вулканічним туфам, по землі, яка ніби підштовхує, не дає змучитися людині, що прагне зустрітися з Карадагом.

З пароплава, на шлюпках, по дзеркальному простору Коктебельської бухти, вчені дісталися коктебельського берега із різнокольоровими камінцями. Початок маршруту зображено на рис. 5.

«Ми, в першу чергу, бачимо широку долину, яка розстилається перед нами і тягнеться у західному напрямку. Поселення Коктебель розміщується приблизно у двох кілометрах звідси, майже на березі. На північ та північний захід від Коктебелю на схилах долини протягується серія виходів гірської породи основного складу — мелафіру. Сама долина складається зі сланців та алювіальних відкладів. Зліва, паралельно берегу моря, до Карадагу тягнеться низка розмитих пагорбів, низьких, але досить крутих, складених продуктами руйнування різноманітних гірських порід. Рінь на узбережжі являє собою скупчення різних видів зеленої та жовтої яшми, халцедону, сердоліку та фрагментів твердих гірських порід, розповсюджених на Карадазі. Дорога вздовж моря тягнеться до кордону на південному заході. На південь від кордону, починаючи з яру, який спускається до моря, починаються виходи на поверхню гірських порід, що складають хребет, який простягається уздовж моря напівцирком біля Карадагу. Урвистий бік цього хребта повернутий до моря, а спадистий схил дивиться на суходіл, тобто на захід. Хребет доволі скоро піднімається на висоту 300 м та досягає своєї найбільшої висоти 475 м якраз навпроти Карадагу, розміщеного прямо на заході; потім він різко спускається в ерозійну долину ріки Отуз, щоб закінчитися на півдні вигнутими дайками, вертикально спадаючих у вигляді фантастичних форм і зникає у сланцях вирівняного рельєфу. Довжина хребта складає приблизно 6 км» [Lagorio 1897b: 5-6]<sup>3</sup>.



**Рис. 5.** Вид на гору Карадаг (в центрі) з боку коктебельського пляжу. Фото П. М. Чирвінського, 1906 р., за: [Chirvinsky 1916: 113].

**Fig. 5.** View on Mount Kara-Dag (centre) from the Koktebel beach. Photo by P. M. Chyrvinsky, 1906, after [Chirvinsky 1916: 113].

<sup>3</sup> Внесемо деякі уточнення. Правильніше говорити про Карадазьку долину, хоча такої назви тоді ще не було. Долина ріки Отуз знаходиться поруч, впадає у море приблизно на відстані одного кілометра на захід по берегу моря від Карадазької долини. Спадистий схил хребта та його найбільшу висоту (475 м), Карадазьку долину, а на захід — мис Меганом та гору Ечкидаг, добре видно з Південного перевалу (сучасна назва), висота якого становить приблизно 350 м. Доволі плеската площа перевалу знаходиться біля підніжжя Карадагу (сучасна назва гора Свята).

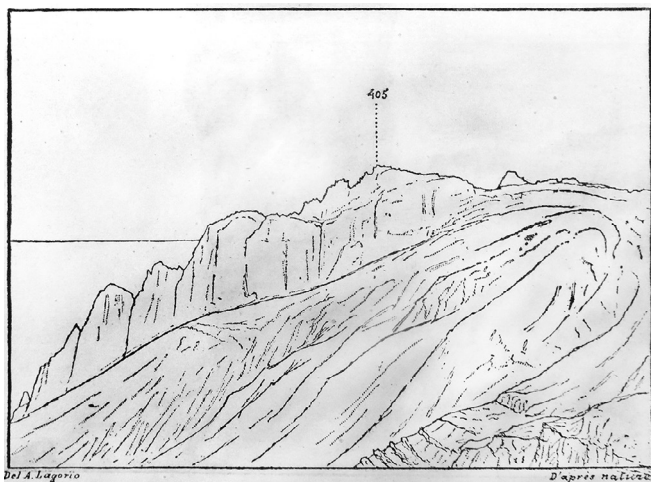
Поки що, обігнувши кордон на півдні, геологічний маршрут дорогою поступово пролягає яром, потім лощиною по еродованим сланцям, глинам, продуктам вивітрювання вулканічних та інших гірських порід.

«Знизу, відразу за кордоном, на південь від дороги піднімається ізольований шпилястий конус, утворений досить кислими андезитами. В основі його знаходяться видозмінені туфи, які іноді важко неозброєним оком відрізнити від щільних вулканічних порід, також глинисті сланці, конгломерат-пісковик. Андезити складаються з польового шпату (андезин-лабладор), рідко зустрічається світло-зелений авгіт, основна маса складається з плагіоклазу [...], склоподібного базису [...] та магнетитового пилу» [ibid.: 6].

Далі вчений показує шлях, який доведеться подолати. Звертає увагу, що на південь-південний захід, праворуч від мальовничого прибережного андезитового хребта (сучасна назва Береговий хребет) відкривається куполоподібна лісиста вершина Карадагу. Підкреслює, що на саму вершину ведуть два шляхи: один на заході, у пониженні між вапняковими висотами Сари-Каї та центральною вершиною Карадагу; другий проходить на сході між вершиною та прибережним хребтом. Ці два шляхи, з яких другий цікавіший, але складніший і важчий, з'єднуються на південному схилі гори, щоб спуститися до моря в місці впадіння в нього ріки Отуз. Саме цей шлях доведеться подолати геологам. Поки не рушили, Олександр Лагоріо звертає увагу на середню частину схилу, де виділяються вивітрені білясті туфи, що являють собою результат метаморфізму їх зеленуватих різновидів. Туфи розміщені серед огрядних уламків гірських порід темного кольору.

«Це андезити із значним, до 71% вмістом кремнезему, але без вільного кремнезему у формі кварцу. [...] У зеленуватих різновидів присутній халцедон, [...] кількість кремнезему сягає 90%. У свіжих породах він варіює від 60% до 70%. Магма — дацитного типу і всюди багато порід, позбавлених первинного кварцу, однак їх треба розглядати як андезити та дацити. Амфібол ніде не трапляється. У якості реваншу всюди знаходимо у невеликих кількостях світло-зелений та жовтуватий авгіт, рідко трапляється ромбічний піроксен. На цьому рівні у вказаних породах присутня порфірова структура з основною масою у структурі якої присутні гіалопіліт і пілотаксит [...], як, з рештою, і для більшості порід Карадагу» [Lagorio 1897b: 6-7].

Далі маршрут проходив схилами, складеними вищевказаними породами — в основному метаморфізованими туфами білуватого або зеленуватого кольорів. Зрештою, геологи досягли вододілу біля підніжжя гори Карадаг (сучасна назва Південний перевал). Увагу присутніх Олександр Лагоріо звертає на те, що зліва, в напрямку до моря, хребет переривається. При цьому вдається до образу хребта у вигляді своєрідної розкритої книжки, де бачимо і читаємо цікавий пасаж «з єдиним доступним спуском у цій частині гірського кряжу» [ibid.: 7]. Цей шлях веде у прохід перед ізольованою дайкою (сучасна назва Чортів палець) і частково продовжується сланцями. На південь від шляху розміщена велика живописна андезитова (дацитова) дайка (сучасна назва Стіна Лагоріо) з максимальною висотою 405 м над рівнем моря і пощербаними краями і контактує зі сланцями та іншими породами (рис. 6).



ється сланцями. На південь від шляху розміщена велика живописна андезитова (дацитова) дайка (сучасна назва Стіна Лагоріо) з максимальною висотою 405 м над рівнем моря і пощербаними краями і контактує зі сланцями та іншими породами (рис. 6).

**Рис. 6.** Велика дайка на південь від Гяур-Баху. Малюнок з натури Олександра Лагоріо, 1897 р., за: [Lagorio 1897b: 8].

**Fig. 6.** A large dyke south of Giaur-Bakh. Original drawing by Oлександр Lagorio, 1897, after [Lagorio 1897b: 8].

Геологи відпочивали, милуючись захоплюючими краєвидами, а Олександр Лагоріо розповів одну із багатьох легенд Карадагу. «Згідно переказів туземців у давні часи внизу біля берегу моря був пишний сад з палацом, який згодом дав місцевості свою назву — Гяур-Бах (Сад невірних). До наших днів збереглися повноводні джерела і дуже багата розкішна східна рослинність» [ibid.].

Відпочинок ще тривав, а вчений звернув увагу, що всі дайки, починаючи з кордону розтягнулися більш-менш перпендикулярно до напрямку хребта і розміщені радіально навкруги головної вершини Карадагу. Цей хребет, на думку вченого, утворював сомму перед центральною вершиною, складену туфами (пізніше ця думка виявилася помилковою). Структура гірських порід, що складають хребет, дещо різна. Так, внизу на північ від кордону, породи в загальних рисах порфірові і складаються з крупного, до 0,5 см жовтуватого плагіоклазу, в основній масі темно-сіра пілотаксична структура, гіалопілітова, більш частіше — трахітоїдна.

«На підвищеній частині гребню порфірових елементів (складових частин) значно менше, іноді їх важко помітити; у більшій частині порід структура сферолітова та етакситова і склоподібний аморфний базис. Так, наприклад, велика дайка на півдні Гяур-Баху і інші дайки на півночі складені з сферолітових дацитів. В минулому [...] вітрофіри, або скоріше андезитовий ретиніт витікали з підвищеної частини хребта позаду великої дайки і більше на південь, до моря та проходу між хребтом та вершиною Карадагу. Це темна (чорна) склоподібна порода з жирним блиском і крупними порфіровими плагіоклазами. На початку крутої балки починається прохід на південь і в цьому місці пехштейн контактує з масивом крейдових порід; в інших місцях він зникає під туфами та продуктами розпаду порід. Цей вихід на поверхню простягається по довжині самої високої частини хребта на віддаль більше одного кілометра на північний захід від Гяур-Баху. Гірські породи, головним чином, сформовані темно-бурим склом [...] з порфіровими включеннями магнетиту, авгіту та плагіоклазу [...], уміщують до 6% води, проте лишаються зовсім свіжими. На схилі хребта, спрямованого до моря, вулканічні породи в різних місцях чергуються з туфами. Вони завжди сильно зруйновані на поверхні, часто уміщують включення халцедону, жовтої, або зеленої яшми, селадоніту яскраво-зеленого кольору та цеоліти» [ibid.: 9].

Повернемося на відносно вирівняну ділянку між Гяур-Бахом та вершиною Карадагу. Далі стежка, якраз навпроти Гяур-Баху, повертає на захід і піднімається крутим схилом до центральної вершини Карадагу. Це найскладніша частина маршруту, потребує зупинок для перепочинку. Проте Олександр Лагоріо зазначив ціль: на висотах більше 470 метрів гора складається з туфів андезиту, які проривають потужні дацитові дайки, що з'являються на схилах у всіх напрямках (часом радіально), а на самій горі розміщена могила мусульманського святого. З південно-західної сторони одна з таких дайок виступає у вигляді стіни над еродованими туфами, оточує вершину на великій протяжності до сходу (приблизно 300 м по висоті над рівнем моря), починаючи від джерела Гяур-Чешме. Як і інші, ця дайка (сучасна назва дайки Велика стіна) утворена кислими андезитовими породами, подібними між собою за хімічним складом магми, але відмінними по структурі.

Вчений зауважив, що їх «... темний, майже чорний колір набуває зеленуватого відтінку, коли порода починає розпадатися і стає світло-жовтою, або білуватою, коли розпад закінчується» [ibid.]. Продукти вивітрювання у деяких місцях можуть нагадувати діяльність фумаролів. Однак, як зазначив вчений, — «... тепер немає ані найменшої ознаки присутності ні на Карадазі, ні в його околицях фумаролів, сольфатарів чи вуглекислого газу» [ibid.]. (Згадка про фумароли та інші чинники сучасного вулканізму використана не тільки для підсилення ефекту розповіді, а й щоб направити думку слухачів на особливості палеовулканічної діяльності).

Нарешті вершина Карадагу! Вона майже не змінилася з того часу і являє собою невеличку вирівняну площадку в оточенні дерев, які часом заважають оглядати довкілля і тоді потрібно підійти до краю площадки, щоб оцінити велич пейзажів, заради яких, зокрема, і відбувалася екскурсія.

«[...] наближуючись до краю цієї площадки насолоджуєшся одним з незвичних, величезних, величезних повчальних краєвидів. На північному сході, сході, південному сході та півдні простягається зазубрений хребет вулканічних порід, а далі — море; на південному заході, на першому плані присутній схил з сипкими глинистими сланцями; потім ідуть вапнякові скелі, позаду яких протікає річка Отуз; ще далі тягнуться лісисті вершини Ельтігену (юрські вапняки); на південь витягнувся півострів Меганом; на горизонті вимальовується силует вулканічної гори Аюдаг та Бабуган яйли — найбільш підвищеної частини гірського пасма Криму. На заході і на північному заході підносяться мальовничі скелі, що складаються з верхньоярських вапняків — Балали-Кая (386 м), Легенер (497 м), Сари-Кая (506 м) та інші. На півночі, позаду Коктебельської долини, на рівнині відслонюються відклади крейдяного та третинного періодів (палеоген - неоген), ще далі на горизонті окреслюється смугою Сиваш та Азовське море. Нарешті, на північному сході бачимо Феодосійські висоти, мис святого Ілії та мальовничий мис Кіік-Атлама. Найближчі околиці Карадагу геологічно мало вивчені» [ibid.: 9-10].

Вершина Карадагу — кульмінаційне місце геологічного маршруту, з якого відкриваються у своїй чарівній величі вищезгадані геологічні об'єкти, а від мальовничих пейзажів посправжньому захоплює подих. У той час на вершині була встановлена дерев'яна тригонометрична віха, на тому ж місці встановлена і сучасна, металева. Поруч знаходилась могила мусульманського святого, відновлена в кінці 1990-х рр. (на наш погляд не на тому самому місці). Вчений розповів:

«Ми спрямовуємо до тригонометричної віхи, встановленої на вершині. Тут бачимо вихід на поверхню білуватих та зеленуватих туфів біля могили одного татарського святого (Азіса). Праворуч стежка крутим та лісистим схилом веде до сірководневого джерела з гірким присмаком — татари визнають за водою цілющі властивості. Від віхи стежка круто спускається по білястому туфу на південний захід. Ми прямуємо до відмітки 470 м, де з під туфів постає величезна дайка, орієнтована на південний захід. Ця дайка з темного дациту занурюється нижче під глинисті сланці юрської системи, що оточують вершину. Повертаємо праворуч, на південь і ми спускаємося по лінії розділення андезитів і туфів, потім крутим яром нижче, де простягаються сланці. Обійшовши дайку з півдня, ми підходимо до джерела Гяур-Чешме і бачимо розповсюдження тих самих порід (дацитів), однак сильно вивітрених і заповнених включеннями хлориту, кальциту і цеолітів (натроліт)» [ibid.: 10].

Далі шлях веде сланцями до спуску у яр, до виходу у нижній його частині андезитів і потім до моря.

«Після того, як ми перетнули яр та подолали невеличкий сланцевий пагорбок — приходимо на беріг моря, до гирла річки Отуз. На відстані приблизно одного кілометра вище течією, ця річка протікає між скелями Мулла-Гассан-Кая і Мулла-Абдул-Кая, сформованими вапняками юрської системи, які доходять тут до рівня моря» [ibid.].

Додамо, що вчений вперше виявив мінерал натроліт на Карадазі і це відкриття надало поштовх для дослідження загалом інших мінералів і цеолітів зокрема. Кримсько-татарські назви вищевказаних скель збереглися виключно завдяки статті Олександра Лагоріо (у інших дослідників не було потреби звертати на них увагу) і в наш час ці назви зрідка можна зустріти в науковій і популярній літературі. Мулла-Гассан-Кая — мальовнича скеля з вертикальними вапняковими схилами більш відома як Медова скеля.

Можна допустити, що екскурсія завершилась у другій половині дня поруч із річкою Отуз, на березі невеличкої бухти, куди підійшов пароплав. Шлюпки були спущені на воду і в кілька прийомів всі учасники екскурсії опинились на пароплаві, щоб подорожувати далі.

Можливо, вже з пароплава, звідки добре було видно гору Карадаг, завершення зазубреного хребта, мальовничі вапнякові скелі Сари-Каї, Легенеру та інші, Олександр Лагоріо завершив наукову екскурсію Карадагом.

«Карадаг цікавий тим, що являє собою єдине місце в Криму, де присутні гірські породи лавового «неовулканічного типу». Ці породи можуть слугувати прикладом, який підтверджує, що цей тип не можна віднести до певного геологічного віку, а також він не пов'язаний із третинним періодом

(палеоген-неоген), однак залежить виключно від процесу виверження магми. Ми зустрічаємо цю магму, ідентичну за складом, також в інших місцях Тавриди, однак там вона представлена в інтрузивних формах численних лаколітів і набула зовсім іншої структури, не дивлячись на те, що її геологічний вік всюди однаковий, або майже однаковий, вона має іншу мінеральну диференціацію. В цьому випадку вона створила в різних пунктах породи мікрогранітної структури, або, коли йдеться про діорити, то зернистої кварцової [...]. З іншого боку, виверження основних порід — дайок мелафірів біля Коктебеля, що з'являються всюди у вигляді жил, зберігають однаковий склад і однакову структуру в найбільш роз'єднаних місцях півострова, таких як монастир святого Георгія біля Севастополя, Кікієніз на південному морському березі, в долинах рік Бодрак та Альма. Крім того, породи, що поширені на Карадазі цікаві тим, що можуть слугувати об'єктом спеціального вивчення питання щодо залежності диференціації однієї і тієї самої магми від рівня підняття та витікання на одній і тій самій місцевості, питання, яким вже займались Іддінгс та інші» [ibid.: 10, 12]<sup>4</sup>.

У додатку до статті вчений привів петрографічні описи та таблицю хімічних аналізів для семи типів вулканічних порід. Коротко перелічимо породи (за нашими прив'язками): 1) мелафір (окремі виходи у Коктебелі), 2) андезит піроксеновий (Сюрю-Кая на Тепсені), 3) андезит піроксеновий (крайня західна частина хребта Кок-Кая), 4) андезит піроксеновий (дацит) (на північно-західному схилі хребта Кок-Кая), 5) андезит піроксеновий (хребет Хоба-Тепе, поруч з Гяур-Бахом), 6) пехштейн андезитовий (вітромір, ретиніт) (Карадаг, на висотах біля 475 м над рівнем моря) та 7) андезит піроксеновий (дацит) (Велика стіна на південному заході Карадагу); всі туфи Карадагу являють собою різновиди цього типу: темної, без видимого скла, іноді з зеленуватим відтінком породи.

Аналізи хімічного складу порід (всього вісім) були виконані у мінералогічному кабінеті Варшавського університету. З них три — особисто Олександром Лагоріо, а п'ять — паном Гораздовським [Lagorio 1897b: 12–14]. Вчений зробив наступний висновок: «Гірські породи Карадагу зовсім не мають амфіболу, попри великий вміст SiO<sub>2</sub>; всюди піроксен» [ibid.: 14]. (Амфібол зустрічається в поодиноких випадках, як виключення).

### **3.2. Стисло про екскурсію Гірським Кримом**

Вище зазначено, що Олександр Лагоріо також провів екскурсію Гірським Кримом. Повний її маршрут мав пролягати від Алушти до Севастополя, через Ялту, Бахчисарай, Мангуп [Golovkinsky & Lagorio 1897]. Зрозуміло, що для зручності, достатньо було обмежитися скороченим і спрощеним варіантом протягом одного дня (Алушта, Гурзуф, Ялта). Залучені були кінні екіпажі.

Пам'ятаємо, що екскурсія Карадагом відбулася 18 вересня, а на другий день, о 5 годині ранку, пароплав прибув на Алуштинський рейд. Море, як і в Коктебельській бухті, було ласкавим, дзеркальним. Геологи розподілилися на дві групи: 50 осіб виявили бажання побувати на суходолі, а 110 обрали морську подорож на пароплаві до Ялти (тут всі учасники конгресу мали зустрітись). Після висадки на берег о 8 годині ранку, на геологів вже чекали екіпажі, всі зайняли місця і своєрідна кавалькада рушила.

Кілька епізодів згадаємо під кутом зору кореспондента газети «Одесский листок» [Navrotsky 1897a-b], який також брав участь у екскурсії. Такий підхід допоможе дізнатися про ті деталі екскурсії, яких немає в науковій публікації.

Перша зупинка відбулася при дорозі до гори Кагель. Геологи зібралися на окремому пагорбі, недалеко від дороги, і з цього оглядового майданчика Олександр Лагоріо у своїй захоплюючій лекції (на півтори години) відтворив яскраву картину геологічної будови Криму. Кореспондент відмітив: «... кількома штрихами майстерно накидав загальну картину дислокації порід та тектоніки Кримського півострова» [Navrotsky 1897a: 2]. Наступна зупинка була навпроти гори Кагель, у місці, звідки

<sup>4</sup> У питаннях дослідження диференціації магми погляди видатного американського петрографа І. Іддінгса багато в чому співпадали з поглядами вченого.

добре було видно дачу М. О. Головкинського. Олександр Лагоріо розповів про високо симпатичну особистість свого товариша, його наукову діяльність і роботу щодо організації конгресу. Запропонував присутнім «... на знак глибокої поваги до пам'яті покійного, дозволити вигравіювати їх [учасників конгресу] імена на пам'ятнику, який буде поставлено Таврійським земством» [ibid.]. Третя зупинка була зроблена для того, щоб ознайомитися з виходами кристалічних порід на Кастелі і їх контактом з оточуючими осадовими товщами: «[...] товариство... уважно розглядало цікаві явища ... і слухало пояснення кращого знавця цих явищ професора Лагоріо». Також були відібрані зразки порід і геологи повернулися до екіпажів, «... підкріпилися стаканом чудового кастельського вина і о першій годині дня виїхали до Гурзуфу» [ibid.].

Після Ялти, 21 вересня пароплав зробив зупинку у Севастополі, де геологи ознайомилися з діяльністю Севастопольської біологічної станції. Морська подорож завершилася 24 вересня в Одесі, де для учасників конгресу була влаштована помпезна зустріч [Navrotsky 1897b: 2]. Професор геології з Лейпцигу Г. Криднер висловив загальну думку: «Цієї поїздки жодний з іноземних вчених, які брали у ній участь, ніколи не забуде» [Navrotsky 1897a: 2].

## Післямова

Ця стаття відноситься не тільки до областей історії науки, а спрямована безпосередньо у наш час, зокрема, нагадує про доречність комплексного геолого-біологічного підходу для вирішення нагальних питань розвитку Землі. Крім того, ідея-попередниця Олександра Лагоріо щодо віку вулканітів Карадагу (верхня юра-нижня крейда) була підтверджена і якісно оновлена завдяки дослідженням вітчизняних вчених, і в першу чергу це зробив Юрій Михайлович Довгаль (1925–1988) — доброзичлива, віддана науці людина. Він вдало поєднував гіпотезу з практикою і на солідній доказовій базі [Chebanenko *et al.* 1988; Dovgal *et al.* 1991] не тільки підтвердив ці погляди, але й відмітив, що діапазон прояву магматичних процесів може бути ширшим. Зокрема, не виключав можливої присутності середньоюрських вулканітів у вигляді реліктів вулканічних структур [Dovgal *et al.* 1991: 98].

Проте, це лише одна з точок зору, існує й інша, традиційна, згідно з якою вік вулканітів відносять до середньої юри. Така ситуація сприяє подальшим дослідженням.

У своїх дослідженнях Ю. М. Довгаль мав обмежену підтримку: її забезпечували погляди Олександра Лагоріо і спільна праця з одностудентами в Інституті геологічних наук НАНУ — В. Я. Радзівілом, В. С. Токовенком, С. В. Чернявським та деякими іншими. Проте погляди цих вчених не відразу знайшли підтримку. Багато було віддано сил, щоб утвердити їх. Прихильно відносився до досліджень тодішній директор Інституту Є. Ф. Шнюков, саме завдяки його зусиллям у 1991 р. у видавництві «Наукова думка» вийшли результати багаторічних досліджень: книжка «Вулкани Карадагу» [Dovgal *et al.* 1991]. Додамо ще: у геологічні маршрути по Карадагу Ю. М. Довгаль ходив самостійно, незважаючи на прогресуючу стенокардію.

Продовження і зміцнення позицій вищевказаних досліджень відбулося завдяки кропіткій, самовідданій роботі відомого дослідника тектоно-магматичних структур України Віктора Яковича Радзівіла (1937–2013). Ним зроблена часова і структурна кореляція магматичних утворень північно-західного шельфу Чорного моря з відомими тектоно-магматичними комплексами Криму, в тому числі і Карадагу [Radzivil & Radzivil 2006a]. Також показано, що Карадаг, як і більшість інших ізометричних тектоно-магматичних структур України, відноситься до структур другого порядку. При цьому, структурно-палеовулканічні реконструкції показали, що, незважаючи на те, що земна кора цих структур знаходиться на різних етапах еволюції, для них характерні ізометричні структури від сотень метрів до 50–80 км у поперечнику, які і визначають їх вигляд. Формування Карадазької ізометричної структури вчений відніс до всієї пізньої юри і припустив присутність більш раннього часу [Radzivil & Radzivil 2006b].

Після детального ознайомлення з літературними джерелами та їх аналізом щодо наукової діяльності Олександра Лагоріо у автора склалося враження про те, що вчений був занадто впевнений у своїй непохитній вірі щодо доведеного ним впливу фізико-хімічних законів на

порядок виділення мінералів з магми (правило Лагоріо). Однак, згодом були виявлені помилки у його поглядах [Zavaritsky 1956: 58-59]. Дійсно, не все вирішують аналітичні дослідження та експерименти, навіть якщо такі базуються на вищевказаних законах, потрібні нові дослідження, нові експерименти: наука на істину не претендує, але спрямована на її пошук.

## Висновки

1. Формування наукових поглядів Олександра Лагоріо відбувалося під час навчання на фізико-математичному факультеті, а пізніше роботи у Дерптському університеті. Тут відбувся захист дослідження на ступінь доктора мінералогії та геогнозії «Порівняльно-петрографічні дослідження масивних гірських порід Криму» [Lagorio 1880a]. Вчителями вченого були мінералоги К. І. Гревінгк, І. Лемберг та хімік К. Шмідт (можливо і інші викладачі). Примноження та поглиблення наукових знань продовжувалось у Варшавському університеті, де професор Олександр Лагоріо працював протягом 1880-1898 рр. У Варшаві сформувалася широкопрофільна наукова школа вченого: синтетиків (експериментальна мінералогія і петрографія), найбільш відомий представник — видатний польський геолог Юзеф Морозевич; кристалографії — Ю. В. Вульф; геологічних проблем — Д. М. Соболев, автор теорії біогенетичних закономірностей у процесі еволюції [Sobolev 1924]. Вчителями останнього, окрім Олександра Лагоріо, були В. П. Амаліцький та Ю. В. Вульф.

2. Особисто вчений працював над пошуками закономірностей у кристалізації магми (правило Лагоріо), його дослідження були у ряду провісників фізико-хімічного напрямку у петрографії. Також відомі його мінералогічні та кристалографічні роботи. Вчений активно залучав у геологічні дослідження експериментальний метод, передбачав його вирішальне значення у пізнанні закономірностей природи.

3. Дослідження магматичних порід у Криму, в окремі роки періоду 1877-1897 рр., являють собою похідну від реалізації власних ідей щодо активної ролі магматичних процесів у формуванні рельєфу. Він вирішував проблеми горотворчих процесів і висунув концепцію формування рельєфу Кримських гір.

4. Головні результати кримських робіт полягають у дослідженнях вже відомих і відкритті нових проявів магматичних порід, які пов'язував з тектонічними процесами. Породи були охарактеризовані петрографічно і хімічно. Геологічний вік визначав як неокомський (нижня крейда) або верхньоюрський-нижньокрейдний з належністю до єдиного магматичного осередку. Склавав карту проявів вулканічних порід. Вчений пишався, що першим відкрив в Криму кристалічні сланці, граніти (єратичні валуни), а також гірську породу таврит тощо.

5. Окреме місце у дослідженнях займав палеовулкан Карадаг. Вчений дав детальну петрографічну та хімічну характеристику породам (виділив 7 типів). Наголосив на присутності лавових покровів. Відкрив мінерал з групи цеолітів — натроліт. Склавав першу геологічну (літологічну) карту Карадагу. У вересні 1897 р. організував наукову екскурсію Карадагом для учасників VII міжнародного геологічного конгресу. Відбулася перша презентація геологічних об'єктів у своєрідному музеї природи просто неба для широкого загалу міжнародної наукової спільноти. Велику, мальовничу дайку, на яку звернув увагу вчений, на початку 20 ст. стали називати Стіною Лагоріо. В ній увіковічена пам'ять про видатного вченого, уродженця і дослідника Криму. На жаль, після 1897 р. досліджень ані в Криму, ані на Карадазі він не проводив. Наукова екскурсія була своєрідним прощанням з молодістю, з Кримом. І на прощання відмітив для наступних дослідників, що гірські породи Карадагу можуть слугувати об'єктом спеціального вивчення питання залежності диференціації магми від її виверження на одній і тій самій території.

6. Крім Карадагу, вчений провів екскурсію Гірським Кримом. Обидві екскурсії за своїм змістом і структурою, продовжують слугувати показовим методологічним прикладом у формуванні наукових екскурсій загалом і започаткували становлення міжнародного наукового туризму в Криму.

## Подяки

Автор вдячний І. В. Загороднюку за всебічне сприяння у підготовці рукопису, рецензентам за критичні зауваження, Золтану Баркасі за редакційну допомогу та переклад англomовних частин тексту. Моя подяка Віталію Дернову за редагування тексту і важливі уточнення щодо геологічних термінів і явищ. Дякую завідувачці наукової бібліотеки Інституту геологічних наук НАН України Н. В. Коваль та бібліотекарці Т. В. Шевчук за допомогу у роботі з літературою.

## Декларації

Фінансування: Дослідження проведено в рамках авторської ініціативи, поза грантовими та бюджетними темами, за власний рахунок.

Конфлікт інтересів. Автор не має жодних конфліктів інтересів, які могли б вплинути на зміст цієї статті.

## References

- Amalytsky, V. P. 1896–1897. The member list of the Society of Naturalists at the Imperial University of Warsaw (as of 1 March 1898). In: Amalytsky, V. (ed.). *Trudy Varshavskogo obshchestva yestestvoispytateley, Protokoly obshchikh sobraniy*, 1–9. [Russian]
- Bezborodov, M. A., L. A. Zhunina. 1951. The role of experimental studies by I. A. Morozovich in chemistry and silicate technology. *Priroda*, No. 7: 73–75. [Russian]
- Biletskyi, V., L. Shpilevoy. 2006. Yozef August Morozewich. *Ukrainian Geologist*, 1: 62–66. [Ukrainian]
- Bogomolov, S. I. 2010. Lagorio Aleksandr Evgenevich (1852–?). In: *Rossiyskiy knizhnyy znak. 1700–1918*. Minuvsheye, Moscow, 1–430. [Russian]
- Chebanenko, I. I., Y. M. Dovgal, V. S. Tokovenko, [et al.]. 1988. *Tectonics of the Northern Black Sea Region*. Naukova dumka, Kyiv, 1–163. [Russian]
- Chirvinsky, P. N. 1903–1906. *Artificial Creation of Minerals in the XIX Century*. Typography of St Volodymyr Imperial University, Kyiv, [1], 1–638, I–LXXXVII, I–II. [Russian]
- Chirvinsky, P. N. 1916. Igneous rocks, volcanic breccia and tufa of Kara-Dag in the Crimea. *Izvestiya Alekseevskogo Donskogo politekhnicheskogo instituta*, 5 (2): 88–135. [Russian]
- Chuvakov, V. N. 2004. Lagorio Aleksandr Evgenevich. In: Makarevich, E. V. (ed.). *Unforgotten Graves: Russian Emigrants: obituaries 1917–1999. In 6 volumes. Vol. 4*. Pashkov Dom Press, Moscow, 24. [Russian]
- Dovgal, Y. M., V. Y. Radzivil, V. S. Tokovenko, [et al.]. 1991. *Volcanos of Kara-Dag*. Naukova dumka, Kyiv, 1–104. [Russian]
- Golovkinsky, N. A., A. Lagorio. 1897. Itinéraire géologique d'Alocha par Jalta, Bakhchissarai et Mongoup-Kale a Sébastopol. *Guide des Excursions du VII Congrès Géologique International*. Imprimerie de M. Stassulévitsch, St. Pétersbourg, 33: 1–28.
- Ilin, B. V. 1940. Y. V. Wulf. Scientific bulletin of the Moscow State University. Jubilee series. *Fizika v moskovskom universitete 1755–1940*, 52: 188–198. [Russian]
- Inostrantsev, A. A. (secr.). 1880. The talks and minutes of the VI congress of Russian naturalists and physicians in Saint Petersburg held on 20 to 30 October 1879. Typography of the Imperial Academy of Sciences, Saint Petersburg, 1: I–XIV, 1–361. [Russian]
- Karyakin, L. I. 1972. To the history of the Russian science. To the centenary of the birth of Dmitry Nikolaevich Sobolev (1872–1949). *Biulleten Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel geologii*, 47 (6): 125–128. [Russian]
- Kirikilitsa, S. I., T. I. Dobrovolskaya, L. G. Plakhotny, [et al.]. 1985. Mesozoic volcanism in the Crimea and some aspects of metalogenesis. In: *Current Issue in Paleovolcanology*. Nauka, Moscow, 119–122. [Russian]
- Kiriliuk, V. P. 2016. Lagorio Oleksandr Yevhenovych. In: Dziuba, I. M., A. I. Zhukovskiy (eds.). *Encyclopaedia of Modern Ukraine*. Publishing House SAM, Institute of Encyclopaedic Studies NAS of Ukraine, Kyiv, 16: 437. [Ukrainian]
- Lagorio, A. 1876. *Microscopische Analyse ostbaltischer Gebirgsarten*. Druck von H. Laakmann's Buchdruckerei, Dorpat, 4, 1–156.
- Lagorio, A. 1878. *Andesite des Kaukasus*. Druck von H. Laakmann's Buchdruckerei, Dorpat, 1–98.
- Lagorio, A. 1880a. *Vergleichend-petrographische Studien über die massigen der Krym*. Druck von H. Laakmann's Buch- und Steindruckerei, Dorpat, 1–67.
- Lagorio, A. E. 1880b. On crystalline rocks of the Crimea. In: Inostrantsev, A. A. (secr.). *The talks and minutes of the VI congress of Russian naturalists and physicians in Saint Petersburg held on 20 to 30 October 1879. Minutes of the fourth joint session of the geological and mineralogical section on 29 October 1879*. Typography of the Imperial Academy of Sciences, Saint Petersburg, 1: 299. [Russian]
- Lagorio, A. E. 1885. Report on the business trip abroad and to Russia during the summer vacation of 1883. *Varshavskiy universitetskiy izvestiya*, 4: 1–19. [Russian]

- Lagorio, A. 1887a. Über die Nature der Glasbasis sowie Krystalisations vorgange im eruptiven Magma. *Tschermak's Mineralogisch und Petrographisch Mittheilen*, **8**: 421–446.
- Lagorio, A. E. 1887b. To the geology of the Crimea I. On some massive rocks of the Crimea and their geological role. *Varshavskiy universitetskiy izvestiya*, **5**: 1–16. [Russian]
- Lagorio, A. E. 1887c. To the geology of the Crimea II. On some massive rocks of the Crimea and their geological role. *Varshavskiy universitetskiy izvestiya*, **6**: 17–48. [Russian]
- Lagorio, A. E. 1889. On a new mineralogical microscope with its demonstration. *Trudy Varshavskogo obshchestva yestestvoispytateley. Protokoly zasedaniya otdeleniya fiziki i khimii Varshavskogo obshchestva yestestvoispytateley*, **3**: 1–9. [Russian]
- Lagorio, A. E. 1890. On geological processes within igneous rocks. *Trudy Varshavskogo obshchestva yestestvoispytateley. Protokoly zasedaniya otdeleniya fiziki i khimii Varshavskogo obshchestva yestestvoispytateley*, **5**: 1–2. [Russian]
- Lagorio, A. E. 1891. The study of mountain formation processes and mineralogy. *Varshavskogo obshchestva yestestvoispytateley. Protokoly zasedaniya otdeleniya fiziki i khimii Varshavskogo obshchestva yestestvoispytateley ot 15(27) aprelya 1890*, 1–29. [Russian]
- Lagorio, A. E. 1894–1895. On lebergite and related compounds. *Trudy Varshavskogo obshchestva yestestvoispytateley*, **6** (11): 7–9. [Russian]
- Lagorio, A. E. 1895. On crystalline shales, first found in the Taurian Peninsula. *Trudy Varshavskogo obshchestva yestestvoispytateley. Protokoly otdeleniy*, **9**: 3–6. [Russian]
- Lagorio, A. E. 1895–1896. In memoriam Daubrée. *Trudy Varshavskogo obshchestva yestestvoispytateley. Protokoly otdeleniya fiziki i khimii*, **9**: 1–3. [Russian]
- Lagorio, A. E. 1896–1897. Question about the reason of differences between igneous rocks. In: Amalitsky, V. (ed.). *Prilozheniye k protokolu godichnogo zasedaniya Varshavskogo obshchestva yestestvoispytateley, 1 maya 1897 g. Trudy Varshavskogo obshchestva yestestvoispytateley. Protokoly obshchikh sobraniy*, 1–12. [Russian]
- Lagorio, A. E. 1897a. In memoriam N. A. Golovkinsky. *Yezhegodnik po mineralogii i geologii Rossii*, **2** (8): 1–9. [Russian]
- Lagorio, A. 1897b. Itinéraire géologique par le Karadag. *Guide des Excursions du VII Congrès Géologique International*. Imprimerie de M. Stassulévitch, St. Pétersbourg, **31**: 1–14.
- Lebedinsky, V. I., N. N. Makarov. 1962. *Volcanism of the Crimean Mountains*. AS Ukr. SSR Press, Kyiv, 1–208. [Russian]
- Levinson-Lessing, F. Y. 1902a. Lagorio Aleksandr Evgenevich. In: Levitsky, G. V. (ed.). *Biograficheskiy slovar professorov i prepodavateley imperatorskogo Yuryevskogo, byvshego Derptskogo universiteta za sto let yego sushchestvovaniya (1802–1902)*. K. Mattisen's Typography, Yuryev, **1**: 225–226. [Russian]
- Levinson-Lessing, F. Y. 1902b. Shmit, Karl. In: Levitsky, G. V. (ed.). *Biograficheskiy slovar professorov i prepodavateley imperatorskogo Yuryevskogo, byvshego Derptskogo universiteta za sto let yego sushchestvovaniya (1802–1902)*. K. Mattisen's Typography, Yuryev, **1**: 246–248. [Russian]
- Levinson-Lessing, F. Y. 1936. *Introduction to the History of Petrography*. Obyedinennoye nauchno-tekhnikeskoye izdatelstvo, Moscow, Leningrad, 1–138. [Russian]
- Levinson-Lessing, F. Y. 1950. *Selected Works. Chemical Composition of Igneous Rocks and Chemical Problems in Petrography*. AS USSR Press, Moscow, Leningrad, **2**: 60–63. [Russian]
- Levinson-Lessing, F. Y., N. N. Dyakonova-Savelyeva. 1933. *The Volcanic Group of Kara-Dag in the Crimea*. AS USSR Press, Leningrad, 1–151. [Russian]
- Levitsky, G. V. (ed.). 1902. *Biograficheskiy slovar professorov i prepodavateley imperatorskogo Yuryevskogo, byvshego Derptskogo universiteta za sto let yego sushchestvovaniya (1802–1902)*. K. Mattisen's Typography, Yuryev, **1**: VIII, 1–666. [Russian]
- Luchitsky, V. I. 1939. *Petrography of the Crimea*. AS USSR Press, Moscow–Leningrad, 1–89. [Russian]
- Luchitsky, V. I., E. A. Kuznetsov. 1936. *The Crimean Peninsula. Petrographic Provinces of the USSR*. Leningrad, 163–181. [Russian]
- Markushev, A. A. 1987. The role of Harry Rosenbusch in the development of petrography (to the 150th anniversary of his birth). *Izvestiya AN SSSR. Seriya geologicheskaya*, **8**: 133–135. [Russian]
- Mechnikov, I. I. 1883. Minutes of the VII congress of Russian naturalists and physicians in Odesa on 18 to 28 August 1883. P. A. Zeleny's Typography, Odesa, 1–347. [Russian]
- Medyshevskaya, O. M. 1976. *Theoretical Problems of Sours Studies*. Moscow, 1–86. [Russian]
- Meister, A. K. 1908. Materials to the petrography of the Crimea. *Izvestiya Geologicheskogo komiteta*, **27**(10): 669–705. [Russian]
- Mikhaleuk, D. K. 2023. Zoologist Sergiy Paramonov and his 'Chemogenesis — A New Theory of Evolution' (to the 130th anniversary of his birth). *Geo&Bio*, **25**: 202–226. [Ukrainian]
- Morozevich, I. A. 1894. On the artificial creation of some minerals and rocks. In: Zernov, D. N. (ed.). *Dnevnik IX syezda russkikh yestestvoispytateley i vrachey*. E. Lissner and Yu. Roman's Typography, Moscow, **4**: 7–8. [Russian]
- Morozevich, I. A. 1897. *Experiments on the Formation of Minerals in Magma*. Warsaw, I–V, 1–246, I–X. [Russian]
- Mukhachev, Y. V. (ed.). 2011. *The Russian Scientific Diaspora: a Bibliographic Directory*. Parad, Moscow, 1–716. (Series: Encyclopaedia of the Russian Emigration). [Russian]

- Muratov, M. V. 1960. *A Brief Review of the Geological Structure of the Crimean Peninsula*. Gosgeoltekhizdat, Moscow, 1–207. [Russian]
- Navrotsky, V. V. (ed.). 1897a. The excursion of geologists to study the Black Sea and the Crimean coast. *Odesskiy listok*, **226**: 2. [Russian]
- Navrotsky, V. V. (ed.). 1897b. The arrival to Odessa of the participants of the VII International Geological Congress. *Odesskiy listok*, **226**: 2. [Russian]
- Prozorovsky-Golitsyn, A. A. 1891. On rocks of Mount Kara-Dag in the Crimea. *Vestnik yestestvoznaniya*, **8**: 228–230. [Russian]
- Radzivil, V. Ya., A. Ya. Radzivil. 2006a. The structural position of igneous formations of the north-west Black Sea shelf and adjacent territories. *Geologicheskij zhurnal*, No. 2–3: 68–79. [Russian]
- Radzivil, V. Ya., A. Ya. Radzivil. 2006b. Focal tectonic-magmatic structures-centres of energetic activity of long-term development and the main fluid-dynamic channels of Earth. In: Tolstoy, M. I. (ed). *Enerhetyka Zemli, ii heoloho-ekolohichni proiavy, naukovo-praktychne vykorystannia*. Kyiv University Press, Kyiv, 194–198. [Russian]
- Reznikov, A. P. 1955. To the centenary of A. E. Lagorio's birth. *Uchenye zapiski Rostovskogo gos. universiteta*, **33** (6): 124–128. [Russian]
- Reznikov, A. P. 1956. A. E. Lagorio and his role in the development of petrography. *Ocherky po istorii geologicheskikh znaniy*, 5: 260–273. [Russian]
- Rodnyy, N. I., Y. I. Solovyev. 1969. *Wilhelm Ostwald. 1853–1932*. Nauka, Moscow, 1–376. [Russian]
- Rosenbusch, H. 1934. *Descriptive Petrography*. State Scientific-Technical Mining-Geological Publisher, Leningrad, Moscow, Grozny, Novosibirsk, 1–720. [Russian]
- Savich-Zabolotsky, K. N., N. V. Logvinenko, I. N. Remizov. 1949. In memoriam Professor D. N. Sobolev. *Mineralogicheskij sbornik Lvovskogo geologicheskogo obshchestva*, **3**: 241–244. [Russian]
- Sludsky, A. F. 1912. Mount Kara-Dag in the Crimea and its geological past. *Zapiski Krymskogo obshchestva yestestvoispytateley*, 1: 33–43. [Russian]
- Sorby, H. C. 1858. On the microscopical structure of crystals, indicating the origin of minerals and rocks. *Quarterly Journal of the Geological Society of London*, **14**: 453–460.
- Sobolev, D. N. 1924. *The Beginnings of Historical Biogenetics*. State Publishing Ukraine, Simferopol, [1–2]: 1–205. [Russian]
- Vinogradov, Y. A., Z. N. Nagorova. 1960. *Methodological Guide to the Scientific and Technical Processing of Scientists' Funds at the Archive of the Academe of Sciences of the USSR*. Moscow, Leningrad, 1–217. [Russian]
- Yakovlev, A. V. 1881. On features of crystalline rocks of the Crimean Peninsula. *Gornyi zhurnal izdavayemyy Gornym uzchenym komitetom*, **3**: 44–69. [Russian]
- Yakovlev, A. V. 1882. To the issue of origin of Crimean crystalline rocks. *Zapiski Imperatorskogo Sankt-Peterburgskogo mineralogicheskogo obshchestva. Vtoraya seriya*, **17**: 231–259. [Russian]
- Zavaritsky, A. N. 1956. *Igneous Rocks*. The AS USSR Press, Moscow, 1–480. [Russian]
- Zaytsev, A. P. 1910. To the petrography of the Crimea. *Yezhegodnik po geologii i mineralogii Rossii*, **12** (78): 207–239. [Russian]
- Zernov, D. N. (ed.). 1894. The diary of the IX congress of Russian naturalists and physicians published by the congress executive committee and edited by D. N. Zernov. E. Lissner and Y. Roman's Typography, Moscow, **6**: 1–32. [Russian]

# Three concepts: an academic ecologist's view

Alexander Protasov

Institute of Hydrobiology, NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

## article info

### key words

biosphere, agroecosystem, techno-ecosystem, concept, noosphere, state of war

### correspondence to

Alexander A. Protasov; Institute of Hydrobiology, NAS of Ukraine; 12 V. Ivasyuk Avenue, Kyiv, 04210 Ukraine; Email: [pr1717@ukr.net](mailto:pr1717@ukr.net); orcid: 0000-0002-0204-2007

### article history

Submitted: 20.01.2024. Revised: 09.07.2024. Accepted: 28.07.2024

### cite as

Protasov, A. 2024. Three concepts: an academic ecologist's view. *GEO&BIO*, 26: 32–44. [Ukrainian, with English summary]

## abstract

Human activity not only creates new materials and technologies, changes the nature of natural geochemical processes, which can have a local impact on the biosphere and the processes in it, as V.I. Vernadsky pointed out, but also creates new types of ecosystems—urban ecosystems, where man builds completely new elements and entire systems of biotopes for the existence of their populations, agroecosystems, where through the use of agricultural technology receives the necessary products of a limited number of species of organisms. It also creates techno-ecosystems, where natural elements together with artificial, technical elements create habitats for organisms. The noospherogenesis, in fact, is the formation of a coexisting system of natural and anthropogenic ecosystems. General ecological principles, which to a greater or lesser extent are addressed in the 'Concept of balanced (sustainable) development of agroecosystems in Ukraine for the period up to 2025,' as well as proposals for the creation of the 'Concept of effective and safe operation of techno-ecosystems' are considered. It is pointed out that the concept of 'agroecosystem' should be considered quite broadly, since it can include not only landscapes, but also aquatic environments. Anthropodependent biotic communities include not only agricultural plants, but also a full spectrum of organisms, from bacteria to mammals. It is pointed out that there is a contradiction between the idea of preserving biodiversity in ecosystems and the high productivity of certain significantly dominant populations. It is noted that technical objects do not exist separately from the environment, but create various techno-ecosystems with natural elements, in which there is a close relationship and mutual influence of technical and biotic elements and factors. The environment is also impacted not by technical systems, but by techno-ecosystems. As one of the factors of scientific and practical support of activities in the field of agroecosystems and techno-ecosystems development management, the directions of scientific research in the concept of research development in the Academy of Sciences of Ukraine are considered. Some issues of practical use of the provisions of the EU Water Framework Directive are discussed, namely in the aspect of application to aquatic techno-ecosystems. During military operations, the destructive power of anthropogenic factors increases by many times, the importance of different factors shifts, which should be reflected in the general conceptual provisions of the complexes of interrelations between nature and human activity.

© 2024 The author(s); Published by the National Museum of Natural History, NAS of Ukraine on behalf of GEO&BIO. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY-SA 4.0), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

# Три концепції: погляд академічного еколога

Олександр Протасов

**Резюме.** Людина своєю діяльністю не тільки, як вказував В. І. Вернадський, створює нові матеріали, технології, змінює характер природних геохімічних процесів, що може чинити локальний вплив на біосферу та процеси в ній, а й створює нові типи екосистем — урбоекосистеми, у яких людина вибудовує абсолютно нові елементи та цілі системи біотопів для існування своїх популяцій, агро-екосистеми, де шляхом використання сільськогосподарських технологій отримує необхідну продукцію обмеженої кількості видів організмів. Також створює техноекосистеми, де природні елементи спільно зі штучними, технічними, створюють середовище існування організмів, тобто впливає на глобальні біосферні процеси. Власне, ноосферогенез і являє собою формування системи співіснування природних екосистем з антропогенними. Розглянуто загальноєкологічні положення, які тією чи іншою мірою представлені в «Концепції збалансованого (сталого) розвитку агроекосистем в Україні на період до 2025 року», а також пропозиції щодо створення нової «Концепції ефективної та безпечної експлуатації техноекосистем в Україні». Вказано на те, що поняття «агроекосистема має розглядатися доволі широко, оскільки вона може включати не тільки рільничі ландшафти сходу, але і акваландшафти, а деякою мірою і лісові екосистеми. Антропо залежні біотичні угруповання включають не тільки сільськогосподарські рослини, а і повний спектр організмів, від бактерій до ссавців. Вказано на те, що існує протиріччя між ідеєю збереження біорізноманіття в екосистемах, та метою отримувати високу продуктивність за рахунок саме окремих суттєво домінуючих популяцій. Відмічено, що технічні об'єкти не існують відокремлено від довкілля, а створюють з природними елементами техноекосистеми, в яких існує тісний взаємозв'язок та взаємовплив технічних та біотичних елементів та чинників. На оточуюче середовище діють також на саме технічні системи, а техноекосистеми. Як один із чинників науково-практичної підтримки діяльності в галузі управління розвитком агроекосистем і техноекосистем розглянуто напрями наукових досліджень у концепції розвитку досліджень в Академії наук України. Обговорюються деякі питання практичного використання положень Водної рамкової Директиви ЄС, саме в аспекті застосування до водних техноекосистем. Під час воєнних дій руйнівна сила антропогенних чинників багаторазово зростає, відбувається зміщення значущості різних чинників, що повинно бути відображено в загальних концептуальних положеннях комплексів взаємовідносин природи та людської діяльності.

Ключові слова: біосфера, агроекосистема, техноекосистема, концепція, ноосфера, воєнний стан.

Адреса для зв'язку: Олександр Протасов; Інститут гідробіології НАН України; проспект Володимира Івасюка, буд. 12, Київ, 04210 Україна; Email: pr1717@ukr.net; orcid: ORCID 0000-0002-0204-2007

## Вступ

Цю статтю у своїй основі було підготовлено ще 2013 року (рік виявився знаменним) для однієї солідної газети-тижневика, але там визнали її надто науковою, та й час був (не тільки з газетно-ефемерного погляду, а й з усіх інших точок зору) вельми складний. Пропонувалася потім редактору журналу «Віче», але так опублікована і не була. Перечитавши рукопис чотири роки потому, я подумав, що він не втратив своєї актуальності, а в дечому навіть передбачив зміни. Те, що я не знайшов відповідного друкованого видання для неї — теж є штрих до портрета часу і місця. Тепер минуло більше десяти років після першого варіанту. Процеси, які почалися десять років тому, призвели до значних соціальних змін, до військового протистояння, відбулися глибокі зміни в міжнародному житті, однак, багато проблем, яких торкнувся роки тому, як і раніше, залишаються актуальними, а деякі стали і більш важливими.

Чому я вважаю, що варто-таки запропонувати читачам цей матеріал із такою давньою основою:

- є вічні проблеми, ті, від яких залежить саме існування людини — ресурси для життя, ресурси для виробництва, зокрема засобів оборони від можливого і реального насильства ззовні;
- є загальні принципи організації різних систем, соціальних, екологічних, відсутність їхнього врахування призводить до того, що ці системи стають недостатньо стійкими і надійними;
- реальне буття, тут і зараз, не відбувається поза зв'язком із минулим, теперішнє є наслідком минулого, спадщина, результат, як і майбутнє не може існувати без зв'язку з теперішнім.

## Концепція сталого розвитку агроєкосистем

Одним зі стимулюючих початкових мотивів підготовки цієї публікації стала одна, ніким, мабуть, не помічена тоді ювілейна дата. Власне й була вона ще в серпні 2013 року, я теж запізнився — був уже грудень. Бурхливий грудень. І мені подумалося: а чи варто взагалі дискутувати про неполітичні, або не прямо політичні питання, про те, що читачам треба зараз. А читачам, народу, як стверджували ще давні римляни, треба «хліба і видовищ», а оскільки видовища швидкоплинні (газетний матеріал), а хліб росте довго, то, начебто, і недоречно писати про хліб, економіку, екологію — речі, як відомо, потрібні, але буденні, надто повсякденні, надто «прозаїчні» в той час, коли пристрасті вирують. Виявилось, що національна ідея, про яку мріяли політики, є! Європа. Раптом багатьом здалося, що треба тільки увійти до «цивілізованого європейського світу» і все прийде само собою. Буде вдосталь і видовищ, і хліба, і чистого повітря, і води...

Минуло ще понад десять років, європейська мета стала ближчою, але певні ілюзії залишилися, що, наприклад, призвело до прикордонних з ЄС конфліктів через транспорт вантажів, у тому числі сільськогосподарської продукції. Але це маленький штрих на тлі гуманітарної та воєнної підтримки більшої частини світу зараз.

Проте, по порядку. У 2013 році виповнилося 10 років після ухвалення документа, начебто вузькогалузевого значення з досить спеціальною назвою: «Концепція збалансованого (сталого) розвитку агроєкосистем в Україні на період до 2025 року» [Concept... 2003]. Тобто, формально, з урахуванням термінів, Концепція і зараз цілком актуальна. Слово «єкосистема», з приставкою «агро-» викликало зв'язок з іншою датою. У 2013 році відзначали 150-річчя від дня народження видатного мислителя, засновника вчення про біосферу Володимира Івановича Вернадського. Далі в голові розвивався дуже вдалий газетний сюжет: великий учений (та ще й перший президент Української академії наук) створив вчення про біосферу, висунув ідею трансформації біосфери в ноосферу — сферу розуму. І ось, реальне втілення цих ідей ... і так далі.

Слово «концепція» походить від латинського «*conceptus*» — поняття, загальна думка, ідея. Загальна думка зазначеного документа визначається буквально так: «забезпечення реалізації ідей, принципів, декларованих конференцією ООН з довкілля та розвитку (Ріо-де-Жанейро, 1992 р.) і Всесвітнім самітом зі збалансованого розвитку (Йоганнесбург, 2002 р.), до яких долучилась і Україна».

Якщо говорити без зайвого пафосу, то, справді, поява саме такої концепції є відображенням того, що ідеї В. І. Вернадського, а якщо подивитись в історію глибше, то й Е. Зюсса, А. фон Гумбольдта, Ж.-Б. Ламарка сприйнято та увійшло у повсякденну свідомість. Саме по собі це обнадіює. Будь-яке впорядкування поглядів є однією з форм боротьби з ентропією, яка в побуті набуває різних форм безгосподарності. Якщо хочете, це один із кроків до ноосфери, як писав В. І. Вернадський, сфери розуму. Щоб не плутати «розум» із «розумним устроєм» біосфери, скажімо так: кроків до оптимально влаштованої як для природи, так і для людини антропосфери. Передбачення В. І. Вернадського [Vernadsky 1945] щодо ролі людської діяльності в біосфері більш ніж оправдалися: вплив людини на природне середовище, що вже суттєво вийшов за межі найближчого людського життєвого простору, охоплюють усю планету, виходять у космос і навіть на інші планети. Менше 100 років минуло від виходу у світ праці В. І. Вернадського «Біосфера», а тієї біосфери кінця XIX та початку XX століття вже не існує. Це зовсім інша система. І в основі цих глобальних змін лежить діяльність людини. Ось хоча б одне із завдань «Агро- Концепції»: «зменшити площі орних земель до 37–41% території країни шляхом виведення з оранки схилів, земель водоохоронної зони, деградованих, малопродуктивних і техногенно забруднених сільськогосподарських угідь!» Якщо додати до агроєкосистем 5–7% зайнятих містами, приблизно 1 % зайнятих транспортними шляхами, десь 5% під

заводами, електростанціями, Зоною відчуження та іншими землями, що використовуються для різних потреб, то що ж лишилося від цього шматочка саме біосфери, що зветься Україна? Це виглядає так, що більшість природних екосистем вже заміщена агроекосистемами, техноекосистемами, урбоекосистемами. Довідковий матеріал підказує: заповідні території, які можна певною мірою вважати мало порушеними господарською діяльністю, становлять 2,8 млн. га, тобто дещо більше 4,6 % території держави! Тобто «ноосферна» частина становить 95 %.

Як раз у часи, коли створювалась Концепція, було проведено винятково важливе наукове дослідження [Sozinov *et al.* 2004] яке дозволило отримати узагальнене уявлення про масштаб так званої агросфери України. З точки зору біосферології поняття «агросфера України» виглядає не зовсім коректно. Як відомо, Е. Зюсс запропонував поняття «біосфера» по аналогії з літосферою, гідросферою, атмосферою, які є планетарними (звідси — сфера) оболонками Землі. І, дійсно, зараз всі континенти охоплені діяльністю людини по створенню нових екосистем на місці природних. Тобто існування вже агросфери, як нової, антропогенної оболонки у масштабі Землі на визиває сумніву. Таким чином, коректно говорити про українську частину агросфери (планети), або частину агросфери в межах України.

Таким чином, дослідження за допомогою космічного зондування показали, що українська частина агросфери складає майже 0,4 млн км<sup>2</sup>, а це десь 0,3% від загальної площі суходолу Землі (без урахування Антарктиди, де, як відомо, у агросфері — біля пляма). Формально, це може є і не такий вже значний показник, але треба погодитися з авторами дослідження в тому, що українське суспільство живе зараз не в тій біосфері, що була, наприклад, за часів Зюсса, чи Вернадського, а в агросфері. Тобто «спілкування» з біосферою, як такою, відбувається, так би мовити, опосередковано.

Але, як вірно відмічено авторами цього дослідження, хоча агросфера є в значній мірі антропогенною системою, є сукупністю агроекосистем, за своїми принципами вона побудована як біосфера в цілому. Додамо: це є передумовою встановлення тісних зв'язків між агроекосистемами, та, так би мовити, зовнішньою біосферою. При цьому «є всі підстави стверджувати, що фактично соціум мешкає в агросфері, яка значною мірою визначає не тільки рівень забезпечення населення продовольством і промисловості сировиною, а й загальний стан довкілля на всій території України.» [Sozinov *et al.* 2004: 80].

Важливо визначити внесок Концепції в екологічну практику. Варто уваги те, що сухі академічні терміни, як-то «екосистема», «біосфера», виявляються цілком застосовними в практичних справах. Заслуговує на увагу визначення основного об'єкта Концепції — агроекосистеми. Це, як зазначено в тексті, клас (тобто, певна сукупність об'єктів, частина ще більшої сукупності, у цьому разі, всіх екосистем біосфери) природно-антропогенних систем — цілісні сукупності рельєфу, ґрунтів, біоти, водних об'єктів, антропогенних елементів. І далі, у Концепції, абсолютно в дусі відомого екологічного визначення біогеоценозу, яке дав еколог і лісознавець В. М. Сукачов: «агроекосистеми являють собою відносно однорідні ділянки території з певним типом взаємозв'язків між елементами». Визнання цієї однорідності дуже важливе з методологічного погляду, оскільки однорідні елементи цілого підлягають певній систематизації.

Не беруся аналізувати положення концепції з погляду фахівців сільського господарства, але гадаю, що важливо наголосити на деяких моментах екологічного плану. Насамперед корисно звернути увагу на певні суперечності.

До питання про основний предмет — агроекосистему. Слова «аграрний», «аграрій» походять від латинського «ager» — поле, тобто перекладаються точно кажучи, як землероб, хлібороб, рільничий. Суперечність полягає в тому, що автори Концепції, надто суворо дотримуючись латинської термінології, не взяли до уваги, що Міністерство агрополітики, яке свого часу й затвердило концепцію, курає не тільки рільництво, а й інші «-ництва»: тваринництво, рибництво, бджільництво тощо. Тобто всю ту галузь людської діяльності, яка постачає нам білки, жири і вуглеводи, а також волокна, шкіру та іншу сировину.

На жаль, тут порушено задекларований самою Концепцією екологічний принцип: не враховано основних елементів агроєкосистем, без яких вони втрачають свою системність. Наприклад, яке може бути рослинництво без запилювачів — бджіл, джмелів? А ґрунти? А водойми та їхнє населення? Це не тільки важливі елементи ландшафту, агроландшафту зокрема, а й середовище існування об'єктів господарської діяльності. Можна сказати, що це мультифункціональні екологічні елементи. Нагадаємо відому метафору: вода — це кров біосфери. Про водну меліорацію, про надходження «крові» в агроєкосистеми в Концепції немає жодного слова. Що й казати, надто інтенсивна гідромеліоративна діяльність за часів соціалізму надовго закріпила негативний погляд на цей рід загалом вкрай корисних робіт. Але й розраховувати лише на примхи сучасного клімату — справа ризикована. Відносини з водогосподарською діяльністю мали бути позначені в Концепції. Друга функція водойм — акумулятивна. Вони накопичують не тільки воду, а й пестициди, не використані на суходолі добрива. Усе це підземним і поверхневим стоком переміщується у водойми та водотоки. І, нарешті, третя важлива функція — продуктивна. Ще 1875 року німецький гідробіолог В. Гензен проводив розрахунки, згідно з якими рибалки в Балтійському морі добувають стільки ж тваринного продукту — риби — на просторі 400 кв. миль, скільки виробляють наземні господарства зі 180–190 кв. миль сільськогосподарських угідь. Те, що рибоводні ставки — це теж агроєкосистеми, було зрозуміло ще в позаминулому столітті. Але чомусь у Концепції не знайшлося місця ні новим породам коропа, ні введенню в культуру рибництва нових видів риб, таких як доволі екзотичний веслоніс (розробки Інституту рибного господарства Академії аграрних наук).

Екологічні принципи встановлюють системність, жоден із важливих елементів не може бути «викинутий» із системи без порушення її цілісності, а отже — існування як системи.

У першому абзаці Концепції підкреслено, що вона базується на принципах, декларованих у Ріо-де-Жанейро 1992 року на конференції ООН з питань довкілля та розвитку. Одну, мабуть, найпоширенішу ідею Ріо-92 можна висловити парафразом Джона Донна: «Коли не Землі зникає біологічний вид, якоїсь степової рослини, або жаби, або ґрунтової нематоїди, не запитуй: По кому дзвонить дзвін? Він дзвонить по тобі!» У рік 2010, оголошений ООН Роком біологічного різноманіття, Генеральний секретар цієї міжнародної організації Пан Кі Мун проголосив: «Біорізноманіття — це життя. Це — наше життя!» Проблема збереження біорізноманіття відображена в окремому розділі Концепції. Він називається: «Створення умов для збереження та відновлення біорізноманіття в рамках сільськогосподарської діяльності». Абсолютно в дусі часу і сучасної екологічної «моди». Проте, варто звернутися до основ диверсіології — розділу екології, в якому вивчають явище різноманітності у світі живого.

Річ у тім, що абсолютно невірно ототожнювати «біорізноманіття» тільки із загальною кількістю наявних видів організмів. У біосфері, в межах України, в окремій екосистемі. Оцінка розмаїття взагалі, і біологічного, зокрема, базується на двох поняттях — кількості компонентів системи (видових популяцій) і так званій вирівняності [Protasov 2008]. Остання являє собою показник переважання одних популяцій щодо інших, тобто ступень їхнього домінування. Оцінка різноманітності базується на ймовірнісному підході. У тропічному лісі кожна випадково взята рослина з високим ступенем імовірності належатиме до різних видів. Крім того, видів цих багато. Тобто ми говоримо про високе видове багатство і високу вирівняність, а отже, і високу різноманітність усєї біотичної системи. На кукурудзяному ж полі з величезною ймовірністю кожна випадково взята рослина належатиме до виду *Zea mays* — кукурудза. Різноманітність угруповання близька до нуля, навіть якщо під час ретельного дослідження ми виявимо на полі безліч видів інших рослин (які будуть у даному агроценозі, на жаль, бур'янами), оскільки домінування одного виду, причому, за нашою допомогою, є абсолютним. Створення агроценозів і агроєкосистем у більшості випадків і є створення таких потворних, з погляду «дикой» біосфери, біотичних і біокосних систем. Ба більше, ми створюємо їх і підтримуємо

за рахунок колосальних витрат енергії. І це робиться, як виявляється, відповідно до законів тієї ж диверсіології: найпродуктивнішими є малорізноманітні біотичні системи. Так, бур'яни значно збільшили різноманітність наших агроценозів, але ми наполегливо боремося з ними, оскільки наша мета — отримання максимальної продукції певного виду організмів. Природні екосистеми мають більшу різноманітність, ніж агроекосистеми, однак, значна частина енергії, що витрачається ними, йде на підтримання власної складності, відповідно, менше — на виробництво продукції.

То як же нам зберегти високе біорізноманіття більше ніж на половині площі України, якщо воно, відповідно до екологічних законів, неминуче має бути мінімальним, щоб отримувати максимум продукції? Наївно вважати, навіть неспеціалісту, що на 4 % території, у заповідниках воно реально буде збережено. Очевидно, що необхідні «синтетичні» підходи.

Констатація (з певною гіркотою) того факту, що «майже забули про фундаментальні застави функціонування біологічних систем, про обов'язкову наявність відповідного біорізноманіття в агроекосистемах...» [Sozinov *et al.* 2004: 81] не втратила своєї актуальності. Але ж ми не можемо відмінити закономірностей диверсіології, тому треба відкинути як хибну саму ідею підтримки значного БІОрізноманіття в агроекосистемах. При цьому, може, слід звернути увагу на агроекосистему як складну БІОКОСНУ систему, та замислитися про підвищення різноманіття абіотичних складових? До того ж, звернемо увагу, що агроекосистеми є частинами, елементами агросфери, і це є більш високий рівень різноманіття. Засівання тисяч гектарів соняшником, чи рапсом на потребу швидкого отримання прибутків вкрай знижую різноманіття вже не агроекосистем (на цьому рівні воно майже нульове), а саме різноманіття значної частини агросфери планети. А це, напевно є більшим кроком до екологічної катастрофи.

Видається, що за втіленням у життя привабливого і, по суті своїй, правильного гасла збереження біологічної різноманітності стоїть велика дослідницька робота. Світовий форум у Ріо не дав конкретних рецептів, а лише вказав, що часу для того, щоб зберегти багатства біосфери вкрай мало. Гострий дефіцит саме конкретних «рецептів», зміщення економічних пріоритетів, конфліктні ситуації у світі призводять до критичних підходів до самої ідеї збереження біорізноманіття [Zagorodniuk *et al.* 2023].

Необхідно підкреслити, що на підтримання агроекосистем витрачається велика кількість енергії. Екологія — це наука про трансформацію потоків енергії живими (популяції, угруповання організмів) і біокосними (біогеоценози) системами. Енергія — це ключове поняття для будь-якої системи, що має властивість організованості. На кожен квадратний сантиметр поверхні Землі щосекунди надходить 230 тисяч ерг сонячної енергії. Багато це чи мало? Це досить багато, щоб приводити в рух планетарний кругообіг води, підтримувати безперервний рух атмосфери, течій у Світовому океані, підтримувати колообіги речовин у природних і, частково, у штучних екосистемах. І є замало, щоб за нинішніх методів господарства (додамо — принципів і способів розподілу продукції) вдалося нагодувати все населення планети. Саме тому будь-яке завдання «збалансованого (сталого) розвитку» агроекосистем має визначити джерела надходження енергії, додаткової до сонячної.

Енергія — це не тільки екологічна, а й економічна валюта. Гроші, які ми можемо отримати в банку — лише видимий знак енергетичних потоків в економіці. Сталий розвиток агроекосистем (sustainable development), чого прагне і закликає Концепція, яку ми розглядаємо, слідом за концепціями ширшого змісту, вимагає великого внеску додаткової енергії. Зокрема й для підтримання потужних інформаційних потоків, для забезпечення управління. З екологічного погляду, «сталий розвиток», тобто, без кризових ситуацій, різких падінь продукційної активності, можливий тільки для агро- і техноекосистем. Природна ж система існує якраз за рахунок внутрішніх коливальних, нестійких процесів. Як стійко існує система хижак–жертва? Та виключно за рахунок того, що підйом чисельності зайців слідує за спадом чисельності вовків,

криза однієї популяції визначає добробут іншої. А стабілізація системи відбувається на певному рівні, тому що енергетичний ресурс усієї системи цілком обмежений.

Агроекосистема — це екологічна модель соціалістичного господарювання: величезна енергія витрачається на підтримку системи та управління. Смерть радянського соціалізму була вирішена ще в 1930-ті роки, коли державною політикою стала ідея використання дармової енергії табірних рабів, а управлінський апарат на кшталт Держплану розрісся до фантастичних розмірів. Природна екосистема — це капіталізм, коли за рахунок постійного перерозподілу енергетичних потоків, неминучих внутрішніх піднесень і криз, що здійснює автоматичне регулювання, зберігається відносна стабільність усієї системи. Зазначу: більш-менш успішне регулювання. «Менш успішне», яке призводить до неминучих криз і стає драмою та трагедією для окремих особин, родин — усього лише частина системи управління. Крім того, як вказував свого часу батько кібернетики Норберт Вінер, суттєве значення (додам — як і в екосистемах) має фактор випадковості, гри.

Звісно, проблеми і паралелі набагато складніші, і це вже теми більш спеціальних наукових робіт. Але важливо постійно перейматися питанням: як, коли і, головне — за якою ціною ми отримуємо енергію для «сталого розвитку»? І чи може він бути реально «сталим», стійким, якщо коливання є один із механізмів управління і внутрішньої організації системи?

## Техноекосистема

Основна властивість другої Концепції в тому, що її поки що немає в оформленому, документальному вигляді. Тобто, її не можна взяти в руки як реальний документ. Залишимо поки що осторонь питання — чому ні? А розглянемо — чому має бути?

Щоб одразу було зрозуміло, про що йдеться, треба уявити її можливу назву. Це «Концепція ефективної та безпечної експлуатації техноекосистем в Україні». Що таке техноекосистема? Це суто техногенні та/або техногенно-природні оселища (біотопи) з їхнім живим населенням [Odum 2001]. Показовий приклад — штучні водотоки — канали. Це частково або повністю штучні споруди з цілою системою пристроїв для подачі води — насосними станціями, дюкерами, водозабірними спорудами тощо. Канал начебто схожий на річку, це теж водотік, проте має багато принципівих відмінностей. Ложе його штучне, не має плесів, перекатів, немає меандрування, що створює у річці особливий режим течій. У річці вода переміщується під дією сил тяжіння, у каналі може подаватися проти сил гравітації, за рахунок насосних станцій. Наприклад, на каналі Дніпро-Донбас 10 насосних, і кожну можна розглядати не тільки як технічну систему, а й як екологічний фактор, антропогенний компонент техноекосистеми.

Теплові чи атомні електростанції потребують великої кількості води, яка використовується для охолодження конденсаторів, різних агрегатів, підготовки деіонізованої води, яка у вигляді пари обертає турбіну. Діючі АЕС України мають водойми-охолоджувачі загальною площею близько 40 кв. км. Температура в деяких ділянках у них може сягати в літній період 38–42°C [Protasov 2011]! Сумарний потік скидних підігрітих вод усіх теплових і атомних електростанцій країни можна порівняти із середньою річкою, на кшталт Південного Бугу чи Десни. Своєрідний термічний режим у водоймах-охолоджувачах, близький до субтропічного, сприяє появі та натуралізації тут екзотичних видів рослин і тварин.

Водойма-охолоджувач разом із каналами, якими вода надходить на електростанцію і якими підігріта вода повертається у водойму, системами технічного водопостачання з їхнім населенням являють собою складну водну частину техноекосистеми АЕС або ТЕС. Крім того, електростанція займає певну територію, на яку тією чи іншою мірою обмежений доступ людей. Ці території можуть виконувати функції своєрідних резерватів для рідкісних представників фауни і флори.

Ці техноекосистеми становлять неабиякий інтерес для фахівців-екологів, зокрема, як модель кліматичних змін. У той час, коли ми тільки будуємо гіпотези щодо того, якими будуть біоценози у водоймах, якщо температура в тому чи іншому регіоні підвищуватиметься за рахунок кліматичних змін, у «модельному» водоймищі-охолоджувачі ми вже зараз маємо такі умови та відповідні біоценози гідробіонтів. Треба зазначити, що не всі електростанції мають відносно замкнуті водойми-охолоджувачі, а використовують так звану прямоточну систему охолодження. Унаслідок чого великі маси підігрітої води потрапляють безпосередньо у водойми, суттєво змінюючи їхній термічний режим. Таким чином, енергетичні станції, як технічні об'єкти, мають різний вплив на навколишнє середовище.

Але є ще одна важлива обставина. Річ у тім, що надійна, безпечна робота багатьох агрегатів залежить від, здавалося б, несуттєвих, мало помітних біологічних факторів. За даними Міжнародної організації, що контролює експлуатацію ядерних реакторів, у 2000–2008 роках у світі відбулося понад 40 серйозних аварійних зупинок на АЕС із причин, пов'язаних із різними біологічними об'єктами. Моллюск дрейсена ще в 1960-х роках завдав величезної шкоди роботі ГЕС на Волзі та Дніпрі. Втрат, які обчислюються мільярдами доларів, завдали ці моллюски електростанціям у США і Канаді при вселенні у Великі американські озера. Витрати на рік на роботи, пов'язані з усуненням біологічних перешкод, спричинених дрейсеною, в середньому для однієї АЕС становили 820 000 доларів на рік [Zebra... 1993]. Різною мірою цей моллюск впливав і на роботу систем водопостачання і на українських АЕС, ГЕС та ТЕС.

Таким чином, ідеться вже не тільки про ефективність, а й про безпеку роботи технічних об'єктів і систем. Система водопостачання АЕС, що нестійко працює через біологічні перешкоди, — надзвичайно небезпечна передумова до аварійної ситуації. Моллюски — це найбільш показовий приклад, але й мікроскопічні водорості планктону також чинять свій негативний вплив. «Цвітіння» води в охолоджувачах, яке вони спричиняють, призводить до підвищення лужності водного середовища, що, своєю чергою, — до різкого підвищення накипоутворення на теплообмінних поверхнях, що призводить до зниження ККД електростанцій, знижує надійність їхньої роботи.

Прикладом того, що, говорячи про безпеку, при розгляді екологічних проблем, треба мати на увазі всю техноекосистему, є сумнозвісна Чорнобильська АЕС. Причиною катастрофи була, власне, технічна система. Однак тепер проблеми пов'язані з техноприродним елементом усієї системи — водоймою — охолоджувачем. Насамперед необхідно зазначити, що остання зіграла величезну позитивну роль, прийнявши та захоронивши величезну кількість радіонуклідів. Однак існує необхідність вирішення питання про його спуск, і до кінця не зрозумілі всі наслідки цього. Таким чином, потенційно небезпечним може стати інший елемент техноекосистеми. (Коли писалися ці рядки (2013 рік), існував тільки проект регульованого спуску водойми, але з 2014 року цей спуск відбувається неконтрольовано за рахунок фільтрації в р. Прип'ять через дамбу, за відсутності підкачки води у охолоджувач). Зараз (2024 рік) на місці водойми-охолоджувача утворилося кілька водойм. Це також приклад відсутності концепції, в даному випадку, виведення з експлуатації об'єктів. Відсутній і загальний, концептуальний підхід до такого роду еколотехнічних катастроф, як знищення греблі Каховської ГЕС.

Питання про те, будувати чи не будувати нові АЕС, додаткові енергоблоки, треба ставити по-іншому: створювати чи не створювати нові техноекосистеми? Це стосується й інших технічних об'єктів — енергетичних станцій, заводів тощо. Погляд екологів, які занепокоєні охороною природи від впливу технічних об'єктів, гуманний і заслуговує на повагу, проте він доволі односторонній, не цілком системний, а отже, не екологічний повною мірою. Дещо спрощуючи, можна сказати, що не тільки навколишнє середовище має бути захищене від впливу технічних систем, а й вони, ці технічні об'єкти, мають бути захищеними від біотичних впливів, у загальному комплексі захисту від природних чинників. Це істотно підвищує надійність

усієї системи — саме системи — техноекосистеми. Тут важливо підкреслити: надійно й ефективно має працювати вся техноекосистема, тільки в цьому разі вона буде певною мірою керована, а отже — максимально безпечна.

## Контроль, моніторинг та оцінки

А управляти системою можна тільки в тому разі, якщо: 1) достовірно відомий поточний стан системи, 2) відомий той стан, який можна вважати прийнятним, необхідним або можливим за даних умов, 3) є методи й умови досягти цього прийнятного стану.

Отже, чи знаємо ми стан наших техноекосистем? Знати стан — це значить мати достовірну інформацію про ризики негативного впливу технічних об'єктів на біотичну частину екосистеми, зворотного впливу біотичних та інших природних чинників, і про ризики для людини та навколишніх екосистем, що можуть походити від контрольованої техноекосистеми. Необхідні, як правило, знання тільки про найголовніші компоненти екосистем, проте «верховенство» тих чи інших не завжди очевидне. Це «верховенство» необхідно встановити шляхом всебічного дослідження угруповань організмів і екосистем.

Було б невірним стверджувати, що на підприємствах, електростанціях не дбають про те, щоб отримувати інформацію про екологічний стан водних об'єктів, які входять до складу техноекосистем. Наприклад, на кожній АЕС існує доволі потужний Відділ охорони довкілля з Еколого-хімічною лабораторією, яка відстежує багато гідрохімічних параметрів. Крім того, радіаційними факторами можливого забруднення опікується спеціальна служба зовнішньої та внутрішньої дозиметрії. Проблема полягає в тому, що самі принципи екологічного контролю вже не відповідають сучасним підходам. Ще в 1970–1980-ті роки в розвинених країнах було досягнуто високого рівня автоматизації контролю вмісту у воді забруднювальних речовин. Але цей напрям не став ключовим, оскільки він не тільки економічно досить дорогий, а й тому, що найточніше знання вмісту тієї чи іншої речовини у воді не дає нам загальної картини, інтегрального погляду на стан екосистеми, відповіді біоти на антропогенний вплив. У 1935 році відомий фахівець у галузі санітарної та технічної гідробіології Я. Я. Нікітінський називав організми «живими хімікатами», а основи біоіндикації якості природних вод були закладені німецькими вченими Р. Колквітцем і М. Марссоном ще 1909 року.

З 2000 року в Євросоюзі існує Водна рамкова директива (*Frame Water Directive 2000*). Принципи оцінки екологічного стану річок, озер, закладені в основу ВРД засновані на використанні біологічної індикації. Що стосується другого пункту умов, точки відліку або необхідного стану, то тут ВРД рекомендує принцип референсних умов, (*reference condition*, перекладається як вихідний стан, контрольні умови). Такими умовами або станом найчастіше обирають стан водного об'єкта в той період, коли вплив людини на нього практично був відсутній. Якою була річка сто років тому, з'ясувати в усіх деталях навряд чи можливо, але достовірно відомо, що в ній водилися лососі. Значить і ми повинні досягти такого екологічного стану, щоб у річці могли жити ці гідробіонти. Завдання, безумовно, непросте. Складно зараз навіть уявити собі обсяг робіт, який належить провести з відновлення водних екосистем, якщо така Директива вступить у дію на території України! (Хода історії стрімка — імплементація ВРД уже йде повним ходом). Заради справедливості слід зазначити, що впровадження ВРД у самій Європі до жодних серйозних революцій у водному господарстві, у методах оцінки якості водного середовища за майже чверть століття не призвело<sup>1</sup>. Зокрема зазначено, що гарного екологічного статусу було досягнуто не більше, ніж для 40% поверхневих вод (річок, озер, перехідних і прибережних вод)...

<sup>1</sup> <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/ecological-status-of-surface-waters>

Найімовірніше, першими кроками впровадження ВРД в Україні мав бути аналіз ефективності на різних прикладах у європейських країнах. У всякому разі — не калька, а обґрунтоване впровадження з урахуванням особливостей гідроекосистем України. Оскільки і екологічні, і економічні умови дуже специфічні. Водна рамкова директива робить наголос на річкових і озерних екосистемах. Але як бути з тими водними об'єктами, які включені до складу техноекосистем? Ні у водосховищ ГЕС, ні у водойм-охолоджувачів АЕС немає доантропогенного минулого. У цьому випадку ВРД рекомендує орієнтуватися на так звані екологічні потенціали. Однак тут автори документа вирішили піти доволі спрощеним шляхом — порівнювати техногенні водойми зі «схожими» природними водоймами та водотоками, наприклад, водосховища з озерами, канали з річками... Це екологічно неправильно, а в деяких випадках, як із гігантськими водосховищами Дніпровського каскаду, просто абсурдно, і тут вочевидь потрібні інші ідеї. Наприклад, для техноекосистем АЕС нами було запропоновано [Protasov *et al.* 2019] використовувати так звані ЕТПУ або екологічно та технічно прийнятні умови, які можуть бути застосовані як еталон порівняння при оцінці екологічного стану (потенціалу).

Запропонована «Концепція ефективної та безпечної експлуатації техноекосистем» якраз і може стати документом, що неминуче має торкнутися питань оцінки умов середовища, ступеня впливу антропогенних чинників на довкілля. Обговорення концептуальних, ключових елементів: що таке техноекосистема, яким є їхній склад, у чому полягають особливості структури в різних галузях промисловості та енергетики, їхня типізація, принципи розроблення екологічних потенціалів, усе це стало б істотним внеском у розроблення природоохоронних дій, а також розроблення прогнозів отримання екосистемних послуг [Priess *et al.* 2018] на сучасному європейському рівні експлуатації техноекосистем.

Ось такі дві концепції. Одна існує, інша ще має народитися і, гадаю, обов'язково народиться, врешті-решт, інстинкт самозбереження в людині один із найсильніших.

## Наука

Але тут приспіла і третя! Ще одна Концепція, яка могла б істотно збагатити дві перші. Це «Концепція розвитку Національної Академії наук України на 2014–2023 роки». На жаль, над укладачами цієї Концепції, вочевидь, витав дух ностальгійних сімдесятих років минулого століття, коли вважалося, що суспільство винятково гостро потребує дедалі нових промислових технологій, створення яких і є основним завданням науки. Але сьогодні століття XXI! Якщо вже про технології, то наше століття є часом біотехнологій. А якщо поза технологіями, то головні загрози для людства — голод, спрага, виснаження ресурсів біосфери, зміни клімату. Ще раз — на жаль: у Концепції розвитку Академії наук узагалі відсутнє слово «біосфера» (ось тобі й 150-річчя! автора вчення), а термін «екосистема» згадано один раз серед наукових завдань у галузі геофізики (!!) у зв'язку з вивченням еволюції морів. Тож надій на те, що Національна Академія наук, принаймні до 2023 року, зверне свій погляд на проблеми вивчення техно- і агроекосистем, нашої, української частини біосфери і біосфери загалом поки що немає. Так думалося у 2017.

Наразі завдання на 2024–2028 рік для Академії наук сформульовані в «Основних наукових напрямках...» [Resolution ... 2024]. Певним чином на комплекс завдань Академії накладає відбиток її структура, а також зв'язки з іншими академіями. І тут межі та «сфери впливу» не завжди чіткі. Наприклад, суто медичні проблеми, на кшталт створення сучасних вакцин проти патогенів, протипухлинних препаратів, ліків зазначено як завдання по Відділенню молекулярної біології, завдання, пов'язані з сільськогосподарським виробництвом — створення високопродуктивних сортів культурних рослин — по Відділенню загальної біології. У рамках завдань Відділення фізико-технічних проблем енергетики можна знайти комплекс прикладних екологічних проблем: «зниження шкідливих викидів енергетичних об'єктів, зменшення

рівня техногенних фізичних полів». При цьому залишається незрозумілим, яким чином, за якими біотичними, екологічними характеристиками проводиться оцінка ефективності розробок природоохоронного плану, хто і де буде її робити.

Проблема, в обговорюваному нами аспекті, полягає, мабуть, у тому, що в Академії наук, створеній В. І. Вернадським, відсутній напрямок дослідження власне «біокосних» систем (якраз це його термін), у яких немає пріоритету ні для біотичних елементів, ні для косних, включно з антропогенними. У зв'язку з цим, заслуговує на увагу існування в Інституті екології Карпат Відділу екосистемології, а також системна структура Інституту гідробіології, яка все ще зберігається, і ще є можливість у спеціалізованих підрозділах вивчати гідрофізичні, гідохімічні характеристики водного середовища та різноманітність біоти, що дає змогу досліджувати саме цілісні гідроекосистеми різного типу.

А далі, як відомо, в усі плани, обговорення перспектив, втрутилася війна.

## Концепції у воєнний час

Немає сумніву, що треба погодитися з автором дуже змістовної аналітичної статті І. В. Загороднюком, де зазначено: «Локдаун під час пандемії ковіду та нова хвиля агресії з боку РФ з окупацією 20 % території України, яка супроводжується руйнацією екосистем, надвисокою смертністю всього живого та незворотними порушеннями природних комплексів, призвели до деактуалізації багатьох попередніх напрямів досліджень і усвідомлення необхідності суттєвих змін у визначенні дослідницьких пріоритетів» [Zagorodniuk 2024].

Очевидно, що внаслідок воєнних дій суттєво змінилася сама просторова структура екосистем різного типу, в тому числі агроекосистем. Багато сільськогосподарських земель виведено з використання за їх прямим призначенням. Війна та політико-економічні чинники суттєво змінили структуру екосистемних послуг, ускладнили реалізацію продукції. Виведення з використання саме сільгоспугідь південних областей України призвело до підвищення енерговитрат для виробництва сільгосппродукції в більш північних кліматичних зонах. Однак зберігається основний посыл і основна мета Концепції: створення умов для збалансованого розвитку агроекосистем.

Що стосується Концепції, пов'язаної з техноекосистемами, то в умовах воєнних дій її актуальність стала ще більшою. Практика засвідчила, що багато руйнівних чинників та їхніх наслідків не було враховано під час проектування, створення техноекосистем та їхньої експлуатації. Військові впливи необхідно виділяти в окремий клас антропогенних впливів, які за силою можна порівняти з потужними природними [Afanasyev 2023]. З погляду дослідження й оцінки біорізноманіття слід враховувати, що воєнні дії можуть бути не тільки чинником порушень умов існування, а й чинником зниження занепокоєння (зменшення кількості населення, зниження господарської активності), що може призводити до зростання багатства угруповань, поряд, звісно, і з прямим збіднінням флори та фауни.

## Післямова

Чи актуальні ці, як і інші, наукові та науково-практичні концепції зараз, у період воєнного стану, війни? Видається, що ще більше, ніж у мирний час. Організація, організованість є запорукою і виживання, і перемоги.

Розробляти концепції розвитку чого б то не було — справа невдячна. Життя завжди виявляється багатшим за наші поверхневі прогнози, адже вони базуються лише на аналізі (завжди не дуже глибокого, для цього потрібен час) минулого і аналізі сьогодення. Але концепції розвитку — не міфічний інструмент управління майбутнім, а цілком реальні програми дій. Оскільки, майбутнє, як відомо, народжується сьогодні.

Зараз 2024 рік. Здавалося б, усе навколо змінилося настільки, що всі міркування десятирічної давності вже зовсім не актуальні. Проте... Ось він, приголомшливий приклад виходу

наукової думки за межі буденних масштабів — вчення В. І. Вернадського про ноосферу. Нині, коли наша країна охоплена війною, зовсім по-новому виглядають слова В. І. Вернадського, написані ним у 1945 році: «Зараз ми переживаємо нову геологічну еволюційну зміну біосфери. Ми входимо в ноосферу. Ми вступаємо в неї — у новий стихійний геологічний процес — у грізний час, в епоху руйнівної світової війни» [Vernadsky 1945: 12]. Історичний досвід людства показує, що кризові явища, конфлікти, війни не змогли змінити загального прогресивного розвитку біосфери загалом і людини в ній. Оскільки біосфера реально існує у вигляді дуже складної ієрархічної системи, в основі якої лежить локальна екосистема [Protasov 2017], біогеоценоз, новий шлях еволюції її, пов'язаний з розвитком людського суспільства, розумом, є ні що інше, як шлях взаємодії, взаємовпливу, заміщення природних і антропогенних, антропо-залежних і природних екосистем.

Структурованість є однією за основних властивостей кожної системи. Очевидно, що структурованість управляючої системи має бути адекватною такій, що управляється. Йдеться про те, що фрагмент біосфери в межах держави є єдиною системою. Тому й контроль за всією системою має бути єдиним, об'єднуючи концепції різного рівня. Напевно, саме Академія наук має бути одним з основних розробників саме такої узагальнюючої концепції. Саме академічні екологи мають довести і показати управлінням від природоохорони, що антропо-екосистеми не є потворними створіннями, а закономірно трансформованими людиною природними екосистемами у рамках ноосферогенезу. А «сфера розуму» є система принципів і концепцій, які можуть тією чи іншою мірою регулювати процеси сучасної еволюції біосфери на користь природи і людини.

### Подяки

Автор вдячний кандидату біологічних наук Ігорю Загороднюку, професору Йордану Узуну, кандидату біологічних наук В. І. Придатко-Доліну за обговорення питань, що розглянуті в цій роботі.

### Декларація

Фінансування. Робота не була підтриманою жодним фондом.

Конфлікт інтересів. Автор даної роботи, щодо саме цієї публікації, не має жодних конфліктів інтересів.

### References

- Afanasyev, S. O. 2023. Impact of war on hydroecosystems of Ukraine: conclusion of the first year of the full-scale invasion of Russia (a review). *Hydrobiological Journal*, **59** (4): 3–16. <http://doi.org/10.1615/HydrobJ.v59.i4.10>
- Concept... 2003. *The Concept of Balanced (Sustainable) Development of Agroecosystems in Ukraine for the Period up to 2025*. 2003. Approved by the Order of the Ministry of Agrarian Policy of Ukraine, 20.08.2003, No. 280. [Ukrainian]
- Nalepa, T. F., D. W. Schloesser (eds). 1993. *Zebra Mussels. Biology, Impacts, and Control*. Boca Raton, 1–810.
- Odum, E. P. 2001. The 'techno-ecosystem'. *The Bulletin of the Ecological Society of America*, **82** (2): 137–138.
- Priess, J. A., J. Hauck, R. Haines-Young, R. Alkemade, M. Mandryk, [et al.]. 2018. New EU-scale environmental scenarios until 2050 — Scenario process and initial scenario applications. *Ecosystem Services*, **29** (3): 542–551. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.08.006>
- Protasov, A. A. 2008. *Biodiversity and Its Estimation. Conceptual Diversicology*. Kyiv, 1–107. [Russian]
- Protasov, A. A. (ed.). 2011. *Techno-ecosystem of NPP. Hydrobiology, Abiotic Factors, Ecological Assessments*. Kyiv, 1–234. [Russian]
- Protasov, O. O. 2017. *Biogeomics. Ecosystems of the World in the Structure of the Biosphere*. Kyiv, 1–382. [Ukrainian]
- Protasov, O. O., A. A. Silayeva, T. M. Novosiolova, Y. I. Uzunov. 2019. Assessment of Ecological Potential of the Aquatic Technoecosystems on the Basis of Comparative Approach. *Hydrobiological Journal*, **56**: 69–86. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v56.i3.60>
- Resolution... 2024. *The Main Scientific Directions and the Most Important Problems of Basic Research in the Field of Natural, Technical, Social and Human Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine for 2024–2028*. Resolution of the Presidium of the National Academy of Sciences of Ukraine of 10.01.2024. Kyiv, № 8: 1–49. [Ukrainian]

- Sozinov, A. A., Y. N. Shtepa, V. I. Pridatko. 2004. Agrosphere as an object of target research by means of remote sensing and GIS for improvement of management of territorial development of natural biodiversity conservation. *Scientific Notes of the V. I. Vernadsky Tavrichesky National University. Series Geography*, 17 (56) 2: 72–87. [Russian]
- Vernadsky, V. I. 1945. The biosphere and the noosphere. *American scientist*, 33 (1): 1–12.
- Zagorodniuk, I., Z. Barkaszi, O. Protasov, V. Prydatko-Dolin. 2023. The biodiversity concept in crisis? Global tendencies and a view from Ukraine. *Geo&Bio*, 24: 183–213. [Ukrainian] <https://doi.org/10.53452/gb2413>
- Zagorodniuk, I. V. 2024. Natural history field studies in war time Ukraine: changes of priorities. *Visnyk of the National of Sciences of Ukraine*, (4): 58–68. [Ukrainian] <https://doi.org/10.15407/visn2024.04.058>

# Late Pennsylvanian vegetation dynamics of the Donets Basin, Ukraine

Nataliya Boyarina

Institute of Geological Sciences, NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

## article info

### key words

Vegetation changes, phytocoenogenesis, glacioeustasy, Kasimovian, Gzhelian, Donets Basin.

### correspondence to

Nataliya Boyarina; Institute of Geological Sciences, NAS of Ukraine; 55-b Oles Honchar Street, Kyiv, 01054 Ukraine; Email: [nboyarina@ukr.net](mailto:nboyarina@ukr.net); orcid: 0000-0001-5316-4090

### article history

Submitted: 15.10.2024. Revised: 01.12.2024. Accepted: 30.12.2024.

### cite as

Boyarina, N. 2024. Late Pennsylvanian vegetation dynamics of the Donets Basin, Ukraine. *GEO&BIO*, 26: 45–78. [English, with Ukrainian summary]

## abstract

The dynamics of the Late Pennsylvanian vegetation cover of the Donets Basin is represented by a succession of formations of new plant communities (phytocoenogenesis) of a wetland forest and woodland biome and a seasonally dry woodland biome because of the changing landscape and climate conditions resulting from the glacio-eustatic changes during the Late Paleozoic Ice Age. The Late Pennsylvanian vegetation consisted of plant communities of wetland marattialean fern-dominated forests on coastal lowlands and wetland lycopsid-fern forests on deltaic plains in the Kasimovian as well as wetland marattialean fern-dominated forests with new dominants on coastal lowlands and wetland lycopsid-pteridosperm-calamitalean-fern forests with new dominants on deltaic plains in the early Gzhelian that were formed according to the evolutionary progressive model of phytocoenogenesis under conditions of an expansion of coastal lowlands and deltaic plains in the long-term period of a relatively stable higher sea level with frequent sea level fluctuations during the late Kasimovian–early-mid-Gzhelian interglacial interval. The subsequent transformation of wetland forests to wetland woodlands on coastal lowlands and deltaic plains according to the substitutionary regressive model of phytocoenogenesis and the formation of the new seasonally dry peltaspermalen pteridosperm-dominated woodland communities in river valleys according to the evolutionary progressive model of phytocoenogenesis took place against the background of a reduction of coastal lowlands and an expansion of river landscapes in the long-term period of a relatively stable sea level drop during the early phase of the late Gzhelian glacial interval. The new plant communities of wetland calamitalean-fern-pteridosperm woodlands on coastal lowlands and seasonally dry fern-pteridosperm woodlands on lagoon coasts in the late Gzhelian were formed according to the migration progressive model of phytocoenogenesis due to a migration of plants from reduced river landscapes to coastal lowlands and lagoon coasts in the period of the further sea level drop with low-amplitude sea level oscillations and an increased drying during the continued late Gzhelian glacial interval.

© 2024 The Author(s); Published by the National Museum of Natural History, NAS of Ukraine on behalf of GEO&BIO. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY-SA 4.0), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

# Динаміка пізньопенсильванської рослинності Донецького басейну України

Наталія Бояріна

**Резюме.** Динаміка пізньопенсильванського рослинного покриву Донецького басейну представлена послідовністю формувань нових рослинних угруповань (фітоценогенезів) вологого лісового та рідколісного біому та сезонно-сухого рідколісного біому внаслідок змін ландшафту та клімату, пов'язаних із гляціоевстатичними змінами упродовж пізньопалеозойського льодовикового періоду. Пізньопенсильванська рослинність складалась із рослинних угруповань вологих лісів з домінуючими маратієвими папоротями на прибережних низовинах і вологих лікопсидо-папоротевих лісів на дельтових рівнинах у касимовський час, а також вологих лісів з домінуючими маратієвими папоротями з новими домінантами на прибережних низовинах і вологих лікопсидо-птеридоспермово-каламітово-папоротевих лісів з новими домінантами на дельтових рівнинах у ранньогжельський час, які були сформовані згідно з еволюційно-прогресивною моделлю фітоценогенезу в умовах розширення прибережних низовин і дельтових рівнин у довготривалий період відносно стабільного високого рівня моря з частими флуктуаціями упродовж пізньокасимовського–ранньосередньогжельського міжльодовикового інтервалу. Подальша трансформація вологих лісів у вологі рідколісся на прибережних низовинах і дельтових рівнинах згідно з субституційно-регресивною моделлю фітоценогенезу та формування нових сезонно-сухих рідколісних угруповань з домінуванням пельтаспермових птеридоспермів у долинах річок згідно з еволюційно-прогресивною моделлю фітоценогенезу відбувались на тлі скорочення прибережних низовин і розширення річкових ландшафтів в довготривалий період відносно стабільного зниження рівня моря упродовж ранньої фази пізньогжельського гляціального інтервалу. Нові рослинні угруповання вологого каламітово-папоротево-птеридоспермового рідколісся на прибережних низовинах та сезонно-сухого папоротево-птеридоспермового рідколісся на узбережжях лагун у пізньогжельський час сформувалися згідно з міграційно-прогресивною моделлю фітоценогенезу внаслідок міграції рослин з річкових ландшафтів, які скорочувались, до прибережних низовин та лагунних узбереж в період подальшого падіння рівня моря з низькою амплітудою коливань та посилення осушення упродовж пізньогжельського гляціального інтервалу.

Ключові слова: зміни рослинності, фітоценогенез, гляціоевстатика, касимовський вік, гжельський вік, Донецький басейн.

Адреса для зв'язку: Н. І. Бояріна; Інститут геологічних наук НАН України; вул. Олеся Гончара, 55-6, Київ, 01054, Україна; e-mail: nboyarina@ukr.net; orcid.org/0000-0001-5316-4090

## Introduction

The Pennsylvanian tropical vegetation of Euramerican Pangea was represented by wetland and seasonally dry (dryland) biomes [DiMichele & Aronson 1992; DiMichele *et al.* 2001, 2005]. In Late Pennsylvanian times, the flora of the wetland biome consisted of marattialean tree ferns and sphenopsids of peat-forming habitats [Phillips & Peppers 1984; DiMichele & Phillips 1996; Wagner 1997; Willard *et al.* 2007; Elrick *et al.* 2017] as well as pteridosperms, ferns, and calamitaleans of flood basin habitats [Scott 1977; Pfefferkorn & Thomson 1982; Gastaldo *et al.* 1995]. The flora of the seasonally dry biome was dominated by seed plants, including conifers, peltasperms with other pteridosperms, and cordaitaleans of fluvio-deltaic and elevated (upland) habitats [Cridland & Morris 1963; Havlena 1971; Broutin *et al.* 1990; Gastaldo 1996; Falcon-Lang *et al.* 2009]. The habitats of wetland and drought-tolerant plants mainly differed by soil moisture conditions that determined a particular vegetation type [Lyons & Darrah 1989; Cleal & Thomas 2005; Dimitrova *et al.* 2011; Thomas & Cleal 2017; DiMichele *et al.* 2020].

The distribution of wetland and dryland vegetation with the differing species composition of plants was due to climate and sea level oscillations that were controlled by a glacial-interglacial cyclicity [Phillips & Peppers 1984; DiMichele *et al.* 2010, 2020, 2023; Cecil *et al.* 2014; Pfefferkorn *et al.* 2017]. The wetland vegetation was predominant in the periods of humid to perhumid climate with year-round rainfalls [Falcon-Lang 2004; Cleal & Thomas 2005; Opluštil & Cleal 2007; Cleal *et al.* 2011, 2012], whereas the dryland drought-tolerant vegetation was widespread under subhumid

to semi-arid climate with rainfall seasonality [Pfefferkorn 1980; Falcon-Lang 2003; DiMichele *et al.* 2008; Bashforth *et al.* 2016]. The climatic and wetland-dryland vegetation dynamics were recognised within individual glacial-interglacial cycles (single glacial-interglacial cycle,  $10^5$  yr) [Cecil 2013; Cecil *et al.* 2014; DiMichele 2014]. In this case, the wet periods of glacial-interglacial cycles with wetland-dominated floras corresponded to the early phases of transgression from middle to late sea level lowstand at times of maximum glacial ice, while dryland floras predominated from late sea level highstand to early and middle sea level lowstand at interglacial-glacial transition [Cecil *et al.* 2003; Horton *et al.* 2010; Montañez & Poulsen 2013; DiMichele 2014]. In the periods of changes from interglacial to glacial parts of cycles and climatic drying, the seasonally dry vegetation of moisture-deficient habitats existed within basinal territories together with the reduced wetland vegetation of lowland habitats [DiMichele *et al.* 2006; Opluštil *et al.* 2013; Bashforth *et al.* 2014, 2021]. The complex composition of the Late Pennsylvanian flora and a growth of these plants into basinal landscapes of tropical Pangea are evidenced by both the macrofloral assemblages consisting of wetland or dryland plant fossils from different lithofacies within the same stratigraphic section and the mixed assemblages of wetland and drought-tolerant plants [Gastaldo 1996; Looy *et al.* 2014; Opluštil 2013; DiMichele 2014, 2024; Bashforth *et al.* 2021].

The intra-biomic and inter-biomic reorganisations were related to the climatic dynamics that was caused by an alternation of global glacial and interglacial intervals accompanied by atmospheric CO<sub>2</sub> fluctuations during the Late Paleozoic Ice Age [Heckel 2008; DiMichele *et al.* 2009, 2023; DiMichele 2014; Looy *et al.* 2014]. The Pennsylvanian was characterised by a series of discrete glacials and intervening warmer periods with ice retraction [Montañez & Poulsen 2013; Montañez 2022] that provided a determining influence on vegetation dynamics. Particularly, the disappearance of lycopsid-dominated forests in the Middle–Late Pennsylvanian transition [Pfefferkorn & Thomson 1982; DiMichele & Phillips 1996; DiMichele *et al.* 2009; Falcon-Lang *et al.* 2018] occurred during the early Kasimovian short-lived glacial interval [Richey *et al.* 2021; Montañez 2022]. The development of the Late Pennsylvanian vegetation was associated with the late Kasimovian–early-mid-Gzhelian interglacial interval [Fielding *et al.* 2008; Montañez & Poulsen 2013; Montañez 2022] and the onset of aridification across the palaeotropics [Montañez *et al.* 2007; Tabor & Poulsen 2008]. Under conditions of interglaciation and increasing aridity, the lycopsid-dominated vegetation with tree ferns and seed ferns of the Middle Pennsylvanian had initially been replaced with tree fern-dominated forests [Shchegolev 1975; Pfefferkorn & Thomson 1982; Phillips & Peppers 1984; DiMichele & Phillips 1996; Cleal 2007] and then callipterid pteridosperm-conifer-dominated vegetation in the end of the Late Pennsylvanian [Shchegolev 1965, 1975; Broutin *et al.* 1990; DiMichele *et al.* 2001, 2005, 2008; Opluštil *et al.* 2013; Cleal *et al.* 2011, 2012].

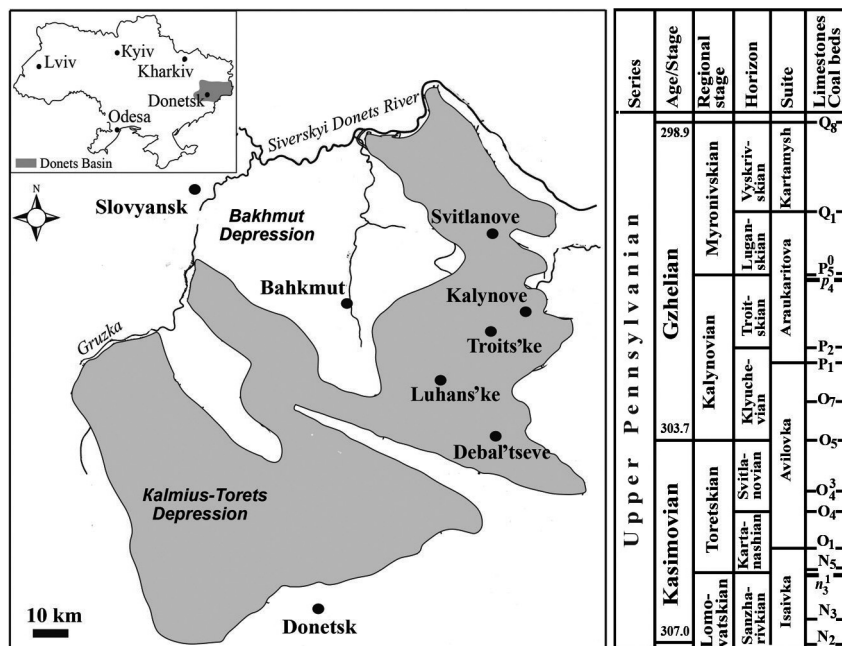
The vegetation composition and its changes during the Late Pennsylvanian have been studied in the Donets Basin [Shchegolev 1964, 1975, 1991; Boyarina 2010, 2016, 2017, 2022, 2023]. O. K. Shchogolev (A. K. Shchegolev in russian transcription) described three main vegetation types (ecofloras) of the late Carboniferous in the Donets Basin: forest vegetation of accumulative lowlands (shore-line sphenopsids, swamp sphenopsids and hygrophilous ferns, lowland ferns and pteridosperms); shrubby (pteridosperms) and forest (cordaitaleans) vegetation of territories adjacent to accumulative lowlands; conifer forest vegetation of elevated habitats. In recent years, reconstruction of plant communities and identification of plant associations within coastal lowlands, deltaic plains, floodplains, and river valley slopes were carried out on the basis of the Kasimovian and Gzhelian plant fossil assemblages that consisted of wetland or drought-tolerant plants [Boyarina 2022, 2023]. The conducted classification of plant communities reveals the syntaxonomic composition of the Late Pennsylvanian wetland and seasonally dry vegetation of the Donets Basin [Boyarina 2023]. The changes of the species composition of plant communities during the Late Pennsylvanian reflect the sequential evolution of plant communities (phytocoenogenesis) that led to the formation of the new palaeophytocoenoses in response to changing environmental conditions [Sukachev 1928, 1954; van der Maarel 1988;

Mirkin & Naumova 2012]. Based on the analysis of the changing palaeophytocoenoses during the Kasimovian and Gzhelian, three models of phytocoenogenesis were proposed that reveal the features of relationships between phytocoenogenetic processes and environmental changes [Boyarina 2022].

The present paper is devoted to the review and analysis of the vegetation cover dynamics in the Late Pennsylvanian in the context of environmental changes that gives an understanding of the nature of vegetational transformations. The review includes detailed descriptions of the vegetation with the prodromus of palaeosyntaxa for the four time intervals during the Kasimovian and Gzhelian. The main development directions of wetland and seasonally dry vegetation due to climatic and landscape changes during the Late Pennsylvanian portion of the Late Paleozoic Ice Age are considered.

## Stratigraphy and Facies Settings

The Upper Pennsylvanian deposits are widespread in the western part of the Donets Basin (Fig. 1) and reaches a thickness of more than 2500 metres [Poletaev *et al.* 2011; Stratigraphy ... 2013]. The Upper Pennsylvanian succession is composed of four lithostratigraphic units, i.e. suites (= formations) with the marker beds of limestone: the upper part of the Isaevska suite (benchmark level  $n_3^1$ - $N_5$ -limestone  $N_5^2$ ), the Avilovska suite (limestones  $O_1$ - $O_7$ ), the Araucaritova suite (limestones  $P_1$ - $P_7$ ), and the lower part of the Kartamyshska suite (limestone  $Q_1$ -carbonate bed  $Q_7$ ). Three regional stages, namely Toretskian, Kalynovian, Myronivskian, with six horizons are corresponded to the Kasimovian and Gzhelian stages.



**Fig. 1.** Geological map of distribution of the Upper Pennsylvanian deposits in the Donets Basin (modified from the materials of State regional geological enterprise 'Donetskgeology', 1985) and Regional stratigraphic scale of the Upper Pennsylvanian of the Donets Basin [Poletaev *et al.* 2011].

**Рис. 1.** Геологічна карта поширення верхньопенсильванських відкладів в Донецькому басейні (модифікована за матеріалами Державного регіонального геологічного підприємства "Донецькгеологія", 1985) та регіональна стратиграфічна шкала верхнього пенсильванію Донецького басейну [Poletaev *et al.* 2011].

The Upper Pennsylvanian sequence is represented by the nearshore-marine and terrestrial sediments that comprises shallow-marine carbonate, coastal bay, lagoonal, lacustrine, deltaic, and fluvial facies [Zhemchuzhnikov *et al.* 1960; Feofilova 1966; Borisenko 1975, 2014; Shchegolev 1991; Poletaev *et al.* 2011].

For the environmental interpretations in this study, the Kasimovian and Gzhelian sedimentary facies are grouped into five facies associations, namely nearshore-marine/coastal lacustrine, coastal lagoonal/deltaic, deltaic-fluvial, fluvial, and coastal lagoonal/lacustrine, that correspond to coastal lowland, deltaic plain, river valley with floodplain, and lagoon coast depositional environments. The nearshore-marine/coastal lacustrine facies association consists of carbonate and siliciclastic deposits with grey unbedded mudstones and coal seams that occur below limestone beds. These facies are

widespread in the Kasimovian, the lower and middle Gzhelian. In the upper Gzhelian, this facies association includes grey unbedded mudstone deposits intercalated with carbonate interbeds that occur between red strata. The coastal lagoonal/deltaic facies association is represented by the lagoonal facies including light grey and greenish grey, thinly bedded siltstones and fine-grained sandstones, as well as the deltaic facies with grey and greenish grey siltstones and greenish grey mudstone lacustrine deposits. The deltaic-fluvial facies association consists of light grey and greenish grey, thinly bedded siltstones with fine- and coarse-grained sandstones. The fluvial facies association comprises grey conglomerate beds, coarse- to fine-grained sandstones, thinly to thickly bedded siltstones, and rare mudstones. The coastal lagoonal/deltaic, deltaic-fluvial and fluvial facies associations are developed in the Kasimovian, the lower and middle Gzhelian. The coastal lagoonal/lacustrine facies association includes red-brown unbedded mudstone and siltstone deposits with blue and greenish grey spots that are widespread in the upper Gzhelian.

## **Material and Methods**

The vegetation dynamics is described using a syntaxonomic composition of vegetation cover in the Kasimovian and Gzhelian times that was previously studied [Boyarina 2023]. The plant communities, forming the vegetation cover, were reconstructed on the basis of the phytooryctocoenoses from lacustrine, lagoonal-lacustrine, lacustrine-deltaic, deltaic, and fluvial deposits and presented in the vegetation classification that was conducted according to the Braun-Blanquet approach. The syntaxonomical changes of vegetation cover during the Kasimovian and Gzhelian times were reflected in the scheme and models of phytocoenogenesis that were proposed as a consequence of the analysis of florocoenotic complexes and phytocoenogenetic processes on the basis of vegetation orders [Boyarina 2022], because the orders, as the floristic variants of large physiognomic and ecological units (i.e. classes) in the Braun-Blanquet classification system [Braun-Blanquet 1964], most fully reflect the vegetation composition of different landscape types. Notably, the florocoenotic complexes were analysed using the diagnostic species of orders and the phytocoenogenetic processes were considered as the progressive or regressive development of plant communities at the rank of orders [Boyarina 2022].

The review of the Late Pennsylvanian vegetational cover is supported by the environmental and palaeophytocoenotic interpretations performed as the result of the analysis of plant-bearing strata with phytooryctocoenoses that reveals the facies features of deposits, the distribution features of phytooryctocoenoses in the section and the taxonomic composition of plant fossil assemblages. The characterisations of vegetation cover include the consideration of the syntaxonomic composition of vegetation, submitted in the prodromus, and the specifics of formation of new plant communities for the time intervals of the Late Pennsylvanian, which correspond to four regional stratigraphic units: Kasimovian (Toretskian), early Gzhelian (Kalynovian), middle Gzhelian (Luganskian), and late Gzhelian (Vyskrivkian). The prodromus of vegetation of each of time intervals is compiled on the basis of the combined prodromus of the Late Pennsylvanian vegetation of the Donets Basin [Boyarina 2023].

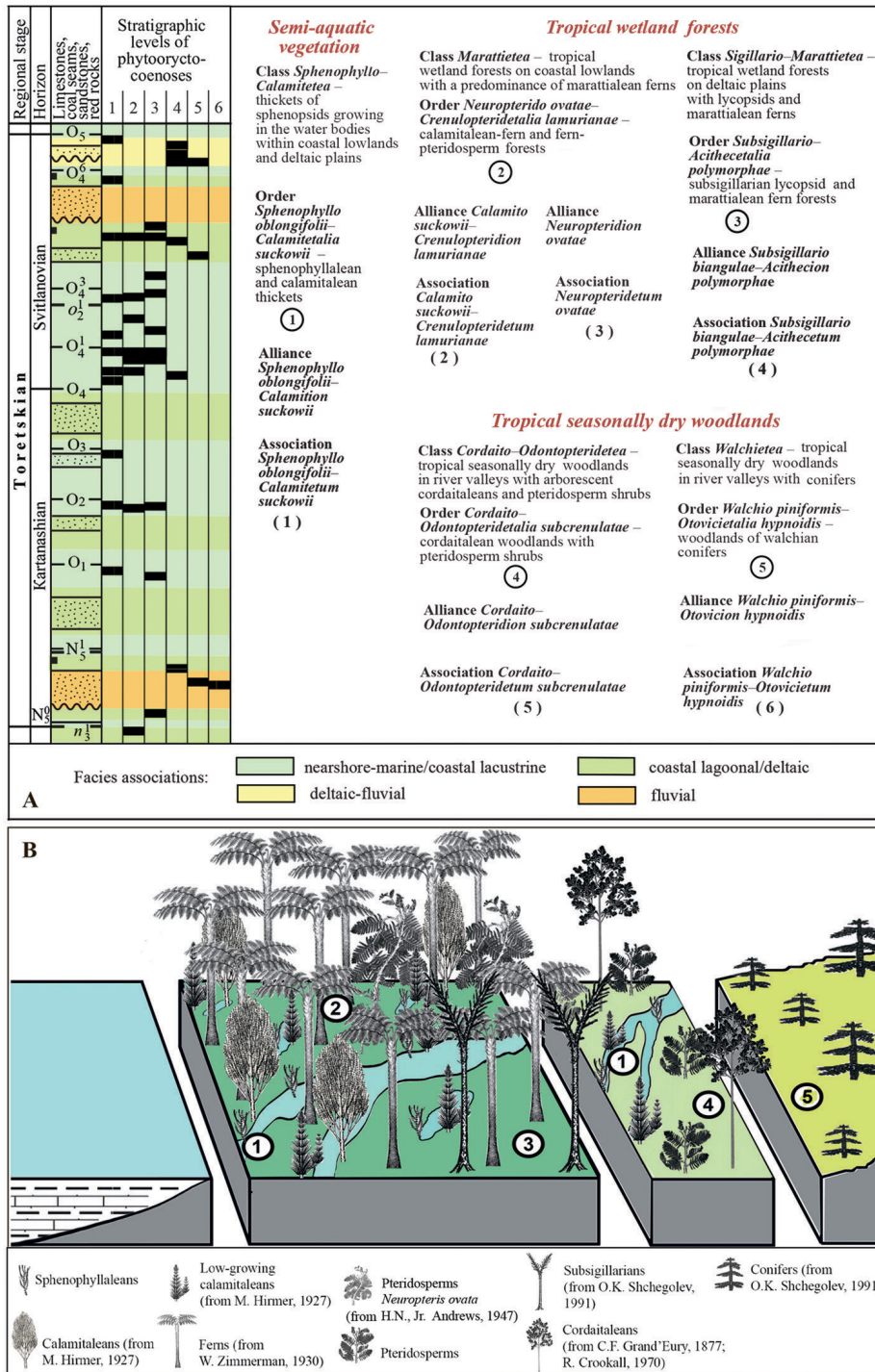
The main events of vegetational dynamics are identified in this study on the basis of the analysis of transformations of plant communities and their connection with environmental changes due to climatic and sea level fluctuations during the Late Pennsylvanian glacial-interglacial intervals of the Late Paleozoic Ice Age.

## **Characterisation of the Late Pennsylvanian Vegetation of the Donets Basin**

### **1. The Kasimovian (Toretskian) vegetation**

#### **1.1. Environmental and palaeophytocoenotic interpretations**

The Toretskian plant-bearing strata are represented by the deposits of four facies associations, namely nearshore-marine/coastal lacustrine, coastal lagoonal/deltaic, deltaic-fluvial, and fluvial, that indicate the distribution of plant communities within coastal lowlands, deltaic plains, floodplains, and river valley slopes (Fig. 2). The most part of the Toretskian deposits belongs to the



**Fig. 2.** Syntaxonomic composition and reconstruction of the Kasimovian (Toretskian) vegetation cover of the Donets Basin: (A) stratigraphic position and facial confinement of the phytocoenoses, on the basis of which the plant associations were identified (association numbers in parentheses); (B) diagrammatic representation of the distribution of plant communities at the rank of orders of different landscape types (order numbers in a circle).

**Рис. 2.** Синтаксономічний склад та реконструкція рослинного покриву Донецького басейну в касимовський (торецький) час: (А) стратиграфічне положення та фаціальна належність фітоориктоценозів, на основі яких встановлені рослинні асоціації (номера асоціацій в дужках); (В) схематичне зображення поширення рослинних угруповань в ранзі порядків різних типів ландшафту (номера порядків в колі).

nearshore-marine/lacustrine facies association. These deposits contain the numerous phytooryctocoenoses with the fossil records of semi-aquatic sphenopsids and calamitalean-fern-pteridosperm communities of coastal lowlands. The interval between the O<sub>4</sub> and O<sub>4</sub><sup>3</sup> limestone beds is especially rich in sphenopsid and fern remains of a diverse species composition.

The semi-aquatic thickets of sphenophylls and calamitaleans were reconstructed on the basis of 11 phytooryctocoenoses in coastal lacustrine, deltaic and fluvial deposits that are more or less evenly located within the Toretskian section. The numerous plant fossils in these phytooryctocoenoses show that the semi-aquatic sphenopsids were widespread along the shores of lakes within coastal lowlands and deltaic plains. The plant associations of calamitalean-fern communities and fern-pteridosperm communities of coastal lowlands were identified on the basis of eight phytooryctocoenoses with calamitalean and fern remains from lacustrine coal-bearing beds and 10 phytooryctocoenoses with fern and pteridosperm remains from lacustrine deposits respectively. These phytooryctocoenoses with numerous plant fossils testify to the widespread of the wetland forests, consisting of calamitalean-fern communities of the shores of lakes and fern-pteridosperm communities within coastal lowlands in the Toretskian time. The phytooryctocoenoses with plant fossils in deltaic and deltaic-fluvial facies are less represented and occur only in the lower and upper parts of the Toretskian. These plants belonged to the communities within deltaic plants and river valleys. The plant association of lycopsid-fern-pteridosperm-calamitalean communities of deltaic plains with a diverse species composition was determined on the basis of six phytooryctocoenoses from coastal lagoonal/deltaic deposits. In general, the widespread deposits of the nearshore-marine/lacustrine facies association with rich plant assemblages as well as the less common deposits of the coastal lagoonal/deltaic facies association with common and rare plant assemblages may point to the predominance of coastal lowlands and less common deltaic plains with wetland forests in the Toretskian landscapes.

The pteridosperm-cordaitalean communities, belonging to seasonally dry woodlands within floodplains and river valley slopes, were reconstructed on the basis of three phytooryctocoenoses with a poor species composition. The one phytooryctocoenos with numerous remains of conifers was found in the proluvial bed within fluvial deposits in the lower part of the Toretskian that indicate that the conifer woodlands occupied river valley slopes at times, but much of the time they grew outside sedimentation areas.

## 1.2. Prodrum and diagnostic species of palaeosyntaxa of the Toretskian vegetation

### **Class *Sphenophyllo–Calamitetea* Boyarina 2023**

Thickets of semi-aquatic sphenopsids growing in water bodies within coastal lowlands and deltaic plains.

Diagnostic species: *Annularia mucronata*, *A. sphenophylloides*, *A. ex gr. stellata*, *Asterophyllites equisetiformis*, *Calamites cistii*, *C. suckowii*, *Sphenophyllum longifolium*, *Sphenophyllum oblongifolium*, and *S. verticillatum*.

### **Order *Sphenophyllo oblongifolii–Calamitetalia suckowii* Boyarina 2023**

Sphenophyllalean and calamitalean thickets of water bodies within coastal lowlands and deltaic plains.

Diagnostic species: D.s. Ord. = D.s. Cl.

### **Alliance *Sphenophyllo oblongifolii–Calamition suckowii* Boyarina 2023**

Sphenophyllalean-calamitalean communities of the shallow parts of coastal lakes and lakes within deltaic plains.

Diagnostic species: D.s. All. = D.s. Ord.

### **Association *Sphenophyllo oblongifolii–Calamitetum suckowii* Shchogolev et Boyarina 2023**

Diagnostic species: *Annularia mucronata*, *A. sphenophylloides*, *A. ex gr. stellata*, *Asterophyllites equisetiformis*, *Calamites cistii*, *C. suckowii*, *Sphenophyllum longifolium*, *Sphenophyllum oblongifolium*, and *S. verticillatum*.

**Class *Marattietaea* Boyarina 2023**

Tropical wetland forests on coastal lowlands with a predominance of marattialean tree ferns.

Diagnostic species: *Acithea polymorpha*, *Annularia* ex gr. *stellata*, *Asterophyllites equisetiformis*, *Calamites suckowii*, *Cyathocarpus arboreus*, *C. cyatheus*, *Diplazites unitus*, and *Nemejcopteris feminaeformis*.

**Order *Neuropterido ovatae*–*Crenulopteridetalia lamuriana* Boyarina 2023**

Calamitalean-fern and fern-pteridosperm forests of coastal lowlands.

Diagnostic species: *Acithea polymorpha*, *Annularia mucronata*, *A. sphenophylloides*, *A. ex gr. stellata*, *Asterophyllites equisetiformis*, *Calamites cistii*, *C. suckowii*, *Crenulopteris lamuriana*, *Cyathocarpus arboreus*, *C. cyatheus*, *C. lepidorachis*, *Dicksonites sterzelii*, *Diplazites unitus*, *Nemejcopteris feminaeformis*, *Neuropteris ovata*, ‘*Pecopteris*’ *paleacea*, ‘*Pecopteris*’ *bredovii*, ‘*Pecopteris*’ *potonieii*, *Sphenopteris lebachensis*, *S. rossica*, and *S. svetlanovii*.

**Alliance *Calamito suckowii*–*Crenulopteridion lamuriana* Boyarina 2023**

Calamitalean-fern communities on lake shores within waterlogged coastal lowlands.

Diagnostic species: *Acithea polymorpha*, *Annularia mucronata*, *A. sphenophylloides*, *A. ex gr. stellata*, *Asterophyllites equisetiformis*, *Calamites cistii*, *C. suckowii*, *Crenulopteris lamuriana*, *Cyathocarpus arboreus*, *C. cyatheus*, *C. lepidorachis*, *Diplazites unitus*, *Nemejcopteris feminaeformis*, ‘*Pecopteris*’ *bredovii*, ‘*Pecopteris*’ *potonieii*, *Sphenopteris lebachensis*, *S. rossica*, and *S. svetlanovii*.

**Association *Calamito suckowii*–*Crenulopteridetum lamuriana***

Shchogolev et Boyarina 2023

Diagnostic species: *Acithea polymorpha*, *Annularia mucronata*, *A. sphenophylloides*, *A. ex gr. stellata*, *Asterophyllites equisetiformis*, *Calamites cistii*, *C. suckowii*, *Crenulopteris lamuriana*, *Cyathocarpus arboreus*, *C. cyatheus*, *C. lepidorachis*, *Diplazites unitus*, *Nemejcopteris feminaeformis*, ‘*Pecopteris*’ *bredovii*, ‘*Pecopteris*’ *potonieii*, *Sphenopteris lebachensis*, *S. rossica*, and *S. svetlanovii*.

**Alliance *Neuropteridion ovatae* Boyarina 2023**

Fern-pteridosperm communities of coastal lowlands.

Diagnostic species: *Acithea polymorpha*, *Crenulopteris lamuriana*, *Dicksonites sterzelii*, *Nemejcopteris feminaeformis*, *Neuropteris ovata*, ‘*Pecopteris*’ *bredovii*, ‘*Pecopteris*’ *paleacea*, and *Sphenopteris rossica*.

**Association *Neuropteridetum ovatae* Shchogolev et Boyarina 2023**

Diagnostic species: *Acithea polymorpha*, *Crenulopteris lamuriana*, *Dicksonites sterzelii*, *Nemejcopteris feminaeformis*, *Neuropteris ovata*, ‘*Pecopteris*’ *bredovii*, ‘*Pecopteris*’ *paleacea*, and *Sphenopteris rossica*.

**Class *Sigillario*–*Marattietaea* Boyarina 2023**

Tropical wetland forests on deltaic plains with sigillarian arborescent lycopsids and marattialean tree ferns.

Diagnostic species: *Acithea polymorpha*, ‘*Pecopteris*’ aff. *mironovana*, *Subsigillaria biangula*, *S. halensis*, *S. sulcata*, *S. weissii*, *Syringodendron angustum*, and *S. brardii*.

**Order *Subsigillario*–*Acithecetalia polymorphae* Boyarina 2023**

Subsigillarian lycopsid and marattialean fern forests of deltaic plains.

Diagnostic species: D.s. Ord. = D.s. Cl.

**Alliance *Subsigillario biangulae*–*Acithecetion polymorphae* Boyarina 2023**

Lycopsid-fern-calamitalean communities of deltaic plains.

Diagnostic species: *Acithea polymorpha*, *Annularia sphenophylloides*, *A. ex gr. stellata*, *Calamites* sp., *Cyathocarpus* cf. *candolleanus*, ‘*Pecopteris*’ aff. *mironovana*, *Sigillariophylloides* sp., *Subsigillaria biangula*, *S. halensis*, *S. sulcata*, *S. weissii*, *Syringodendron angustum*, and *S. brardii*.

### **Association *Subsigillario biangulae–Acithecetum polymorphae***

Shchogolev et Boyarina 2023

Diagnostic species: *Acitheca polymorpha*, *Annularia sphenophylloides*, *A. ex gr. stellata*, *Barthelemyopteris germarii*, *Calamites* sp., *Cyathocarpus* cf. *candolleanus*, *Neurodopteris auriculata*, *Odopteris* cf. *schlotheimii*, 'Pecopteris' aff. *mironovana*, *Sigillariophylloides* sp., *Subsigillaria biangula*, *S. halensis*, *S. sulcata*, *S. weissii*, *Syringodendron angustum*, and *S. brardii*.

### **Class *Cordaito–Odopteridetea*** Boyarina 2023

Tropical seasonally dry woodlands in river valleys with arborescent cordaitaleans and pteridosperm shrubs.

Diagnostic species: *Cordaites* sp., *Odopteris subcrenulata*.

### **Order *Cordaito–Odopteridetalia subcrenulatae*** Boyarina 2023

Cordaitalean woodlands with pteridosperm shrubs of river valleys.

Diagnostic species: *Cordaites* cf. *borassifolia*, *C. sp.*, *Odopteris naumichana*, and *Odopteris subcrenulata*.

### **Alliance *Cordaito–Odopteridion subcrenulatae*** Boyarina 2023

Cordaitalean-pteridosperm communities of floodplains and river valley slopes.

Diagnostic species: D.s. All. = D.s. Ord.

### **Association *Cordaito–Odopterideteum subcrenulatae*** Shchogolev et Boyarina 2023

Diagnostic species: *Cordaites* cf. *borassifolia*, *C. sp.*, *Odopteris naumichana*, and *Odopteris subcrenulata*.

### **Class *Walchietea*** Boyarina 2023

Tropical seasonally dry woodlands in river valleys with conifers.

Diagnostic species: *Culmitzschia parvifolia*, *Otovicia hypnoides*, and *Walchia piniformis*.

### **Order *Walchio piniformis–Otovicietalia hypnoidis*** Boyarina 2023

Walchian conifer woodlands of river valleys.

Diagnostic species: *Culmitzschia* cf. *angustifolia*, *C. hirmeri*, *C. parvifolia*, *Otovicia hypnoides*, *Samaropsis delafondii* var. *acuminata*, *S. pinnata*, *Samarospermum moravicum*, *Walchia piniformis*, and *Walchiostrobus* sp.

### **Alliance *Walchio piniformis–Otovicion hypnoidis*** Boyarina 2023

Conifer communities of river valley slopes.

Diagnostic species: D.s. All. = D.s. Ord.

### **Association *Walchio piniformis–Otovicietum hypnoidis*** Shchogolev et Boyarina 2023

Diagnostic species: *Culmitzschia* cf. *angustifolia*, *C. hirmeri*, *C. parvifolia*, *Otovicia hypnoides*, *Samaropsis delafondii* var. *acuminata*, *S. pinnata*, *Samarospermum moravicum*, *Walchia piniformis*, and *Walchiostrobus* sp.

## **1.3. Composition and phytocoenogenesis of the Toretskian vegetation**

The Toretskian vegetation cover of the Donets Basin consisted of wetland forests, seasonally dry woodlands and semi-aquatic sphenopsid thickets belonging to five classes (see: Fig. 2).

The sphenopsid thickets of the shallow parts of lakes within coastal lowlands and deltaic plains were assigned to the class *Sphenophyllo–Calamitetea* with the order *Sphenophyllo oblongifolii–Calamitetalia suckowii*. The calamitaleans with the stems of *Calamites suckowii* Brongniart and the sphenophylls with the leafy shoots of *Sphenophyllum oblongifolium* (Germar et Kaulfuss) Unger dominated in these communities. The calamitaleans with the leafy shoots of *Annularia sphenophylloides* (Zenker) Gutbier and *A. ex gr. stellata* (Schlotheim) Wood as well as the sphenophylls with the leafy shoots of *Sphenophyllum longifolium* (Germar) Gutbier and *S. verticillatum* (Schlotheim) Zeiller were subdominants of sphenopsid thickets.

The wetland forests were widespread on sea coasts within coastal lowlands and deltaic plains. The forests, which occupied waterlogged coastal lowlands, consisted of marattialean tree ferns, calamitaleans and pteridosperm shrubs and were identified to the class *Marattietea* with the order *Neuropterido ovatae–Crenulopteridetalia lamuriana*. The latter includes two alliances. The calamitalean-fern communities of the alliance *Calamito suckowii–Crenulopteridion lamurinae* occupied the lake shores on coastal lowlands. The alliance *Neuropteridion ovatae* is represented by the communities, which were composed of tree ferns and quite common pteridosperm shrubs as evidenced by the presence of numerous remains of pteridosperms in lacustrine deposits [Boyarina 2023]. The fern-pteridosperm communities were distributed on wetlands surrounding the lakes within coastal lowlands. The forests of coastal lowlands were dominated by the ferns with the foliage of *Crenulopteris lamuriana* (Heer) Wittry et al., *Cyathocarpus arboreus* (Sternberg) Weiss, *C. hemitelioides* (Brongniart) Mosbrugger, *Nemejcopteris feminaeformis* (Schlotheim) Barthel, *Sphenopteris rossica* Zalessky, the pteridosperms with the foliage of *Neuropteris ovata* Hoffmann, and the calamitaleans with stems of *Calamites suckowii* and the foliage of *Annularia sphenophylloides*, *A. ex gr. stellata*, *Asterophyllites equisetiformis* (Sternberg) Brongniart. These wetland forests were characterised by the progressive development during the Toretskian time, as evidenced by the appearance of new fern species and an increased species abundance of some ferns, calamitaleans and pteridosperm *Neuropteris ovata*. The formation of the plant communities on coastal lowlands happened in accordance with the evolutionary progressive model of phytocoenogenesis [Boyarina 2022].

The wetland forests of deltaic plains were assigned to the class *Sigillario–Marattietea* with the order *Subsigillario–Acithecetalia polymorphae*. The lycopsid-fern forests of this order consisted of the subsigillarian arborescent lycopsids *Subsigillaria biangula* (Weiss) Shchegolev, *S. brardii* (Brongniart) Weiss emend. Shchegolev, *S. halensis* (Weiss) Shchegolev, *S. sulcata* (Ščurovskij) Shchegolev, *S. weisii* Shchegolev, *Syringodendron angustum* Shchegolev, and *S. brardii* Shchegolev; the ferns, among which *Acitheca polymorpha* (Brongniart) Schimper dominated; the calamitaleans with the foliage of *Annularia sphenophylloides*, *A. ex gr. stellata*, and *Asterophyllites equisetiformis*. The appearance of more than 10 new subsigillarian lycopsids in the composition of the wetland forests on deltaic plains demonstrates the progressive development of plant communities, the formation of which corresponds to the evolutionary progressive model of phytocoenogenesis [Boyarina 2022].

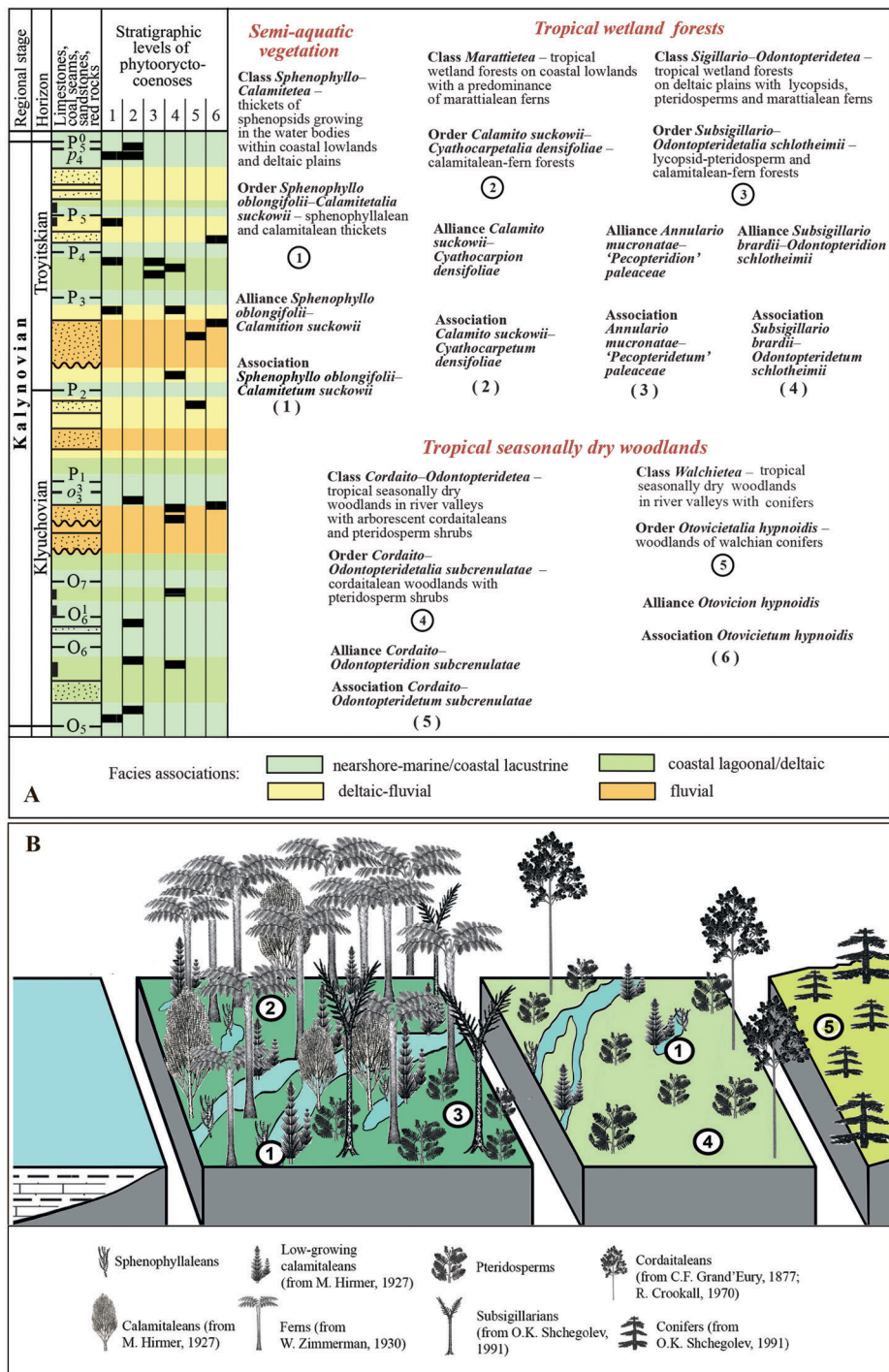
The seasonally dry vegetation occupied floodplains and river valley slopes. The woodland communities in river valleys were composed of arborescent cordaitaleans and pteridosperm shrubs and assigned to the order *Cordaito–Odontopteridetalia subcrenulatae* in composition of the class *Cordaito–Odontopteridetea*. The coniferous woodlands were identified as the class *Walchietea* with the order *Walchio piniformis–Otovicietalia hypnoidis*. The coniferous communities grew within river valley slopes and interfluvial areas, which were obviously outside sedimentation areas during the most part of the Toretskian time.

In general, we can say that in vegetation cover of the Donets Basin in the Toretskian, the wetland marattialean fern-dominated forests of coastal lowlands prevailed, the wetland lycopsid-fern forests of deltaic plains were also relatively common, whereas the seasonally dry cordaitalean-pteridosperm and conifer woodlands of river valleys played no notable part within a sedimentation area.

## 2. The early Gzhelian (Kalynovian) vegetation

### 2.1. Environmental and palaeophytocoenotic interpretations

The Kalynovian plant-bearing strata are composed of the deposits that relate to four facies associations as the Toretskian deposits, i.e. nearshore-marine/coastal lacustrine, coastal lagoonal/deltaic, deltaic-fluvial, and fluvial (Fig. 3). However, there are differences in the distribution of certain facies that are manifested in the decrease of nearshore-marine/coastal lacustrine facies as well as the increase of coastal lagoonal/deltaic and deltaic-fluvial facies upwards on the Kalynovian section. And in addition, the distribution and species richness of plant fossil assemblages indicate also some phytocoenotic changes during the Kalynovian.



**Fig. 3.** Syntaxonomic composition and reconstruction of the early Gzhelian (Kalynovian) vegetation cover of the Donets Basin: (A) stratigraphic position and facial confinement of the phytotoorctocoenoses, on the basis of which the plant associations were identified (association numbers in parentheses); (B) diagrammatic representation of the distribution of plant communities at the rank of orders of different landscape types (order numbers in a circle).

**Рис. 3.** Синтаксономічний склад та реконструкція рослинного покриву Донецького басейну в ранньогзельський (калінівський) час: (A) стратиграфічне положення та фациальна належність фітоориктоценозів, на основі яких встановлені рослинні асоціації (номера асоціацій в дужках); (B) схематичне зображення поширення рослинних угруповань в ранзі порядків різних типів ландшафту (номера порядків в колі).

Thus, the plant association of calamitalean-fern communities with rare pteridosperms of the lake shores within coastal lowlands was identified on the basis of six phytooryctocoenoses, but at the same time four of them were found in the lower part of the Kalynovian. The decrease of coastal lacustrine strata with plant fossils in the upper part of the Kalynovian may indicate that the wetland forests of coastal lowlands were slightly reduced in the late Kalynovian. The plant associations of lycopsid-pteridosperm communities and calamitalean-fern communities with a rich species composition of deltaic plains were determined on the basis of nine phytooryctocoenoses from coastal lagoonal/deltaic deposits, and the plant fossil assemblages with the remains of lycopsids and pteridosperms are fairly evenly distributed in the section. The facies and macrofloral features of these phytooryctocoenoses show that the wetland lycopsid-fern-pteridosperm forests of deltaic plains were more widespread than calamitalean-fern forests of coastal lowlands in the late Kalynovian vegetation cover.

The seasonally dry pteridosperm-cordaitalean communities of alluvial plains are poorly represented in fossil records as in the Toretskian. The rare plant fossil assemblages in fluvial deposits, which are characterised by a poor species composition, occur in the middle part of the Kalynovian, in which deltaic-fluvial and fluvial deposits are predominant. The phytooryctocoenoses, including conifer remains, were found in greater numbers compared to the Toretskian. The conifer communities of river valley slopes were reconstructed on the basis of the conifer remains from three stratigraphic levels in deltaic-fluvial and fluvial deposits in the upper part of the Kalynovian, containing a few variegated beds, that reflect an increasing role of alluvial landscapes with some climatic drying within a sedimentation area in the late Kalynovian.

## 2.2. Prodrum and diagnostic species of palaeosyntaxa of the Kalynovian vegetation

### **Class *Sphenophyllo–Calamitetea* Boyarina 2023**

Thickets of semi-aquatic sphenopsids growing in water bodies within coastal lowlands and deltaic plains.

Diagnostic species: *Annularia mucronata*, *A. sphenophylloides*, *A. ex gr. stellata*, *Asterophyllites equisetiformis*, *Calamites cistii*, *C. suckowii*, *Sphenophyllum longifolium*, *Sphenophyllum oblongifolium*, and *S. verticillatum*.

### **Order *Sphenophyllo oblongifolii–Calamitetalia suckowii* Boyarina 2023**

Sphenophyllalean and calamitalean thickets of water bodies within coastal lowlands and deltaic plains.

Diagnostic species: D.s. Ord. = D.s. Cl.

### **Alliance *Sphenophyllo oblongifolii–Calamition suckowii* Boyarina 2023**

Sphenophyllalean-calamitalean communities of the shallow parts of coastal lakes and lakes within deltaic plains.

Diagnostic species: D.s. All. = D.s. Ord.

### **Association *Sphenophyllo oblongifolii–Calamitetum suckowii***

Shchogolev et Boyarina 2023

Diagnostic species: *Annularia mucronata*, *A. sphenophylloides*, *A. ex gr. stellata*, *Asterophyllites equisetiformis*, *Calamites cistii*, *C. suckowii*, *Sphenophyllum longifolium*, *Sphenophyllum oblongifolium*, and *S. verticillatum*.

### **Class *Marattietea* Boyarina 2023**

Tropical wetland forests on coastal lowlands with a predominance of marattialean tree ferns.

Diagnostic species: *Acitheca polymorpha*, *Annularia ex gr. stellata*, *Asterophyllites equisetiformis*, *Calamites suckowii*, *Cyathocarpus arboreus*, *C. cyatheus*, *Diplazites unitus*, and *Nemejcopteris feminaeformis*.

**Order Calamito suckowii–Cyathocarpetalia densifoliae** Boyarina 2023

Calamitalean-fern forests on coastal lowlands.

Diagnostic species: *Acitheca polymorpha*, *A. sphenophylloides*, *A. ex gr. stellata*, *Asterophyllites equisetiformis*, *Calamites medulatus*, *C. suckowii*, *Calamostachys germanica*, *Cyathocarpus arboreus*, *C. cyatheus*, *C. densifolius*, *C. hemitelioides*, *Diplazites unitus*, *Nemejcopteris feminaeformis*, *Odontopteris cantabrica*, *'Pecopteris' jongmansii*, *'Pecopteris' platonii*, and *'Pecopteris' truncata*.

**Alliance Calamito suckowii–Cyathocarpion densifoliae** Boyarina 2023

Calamitalean-fern communities on lake shores within coastal lowlands.

Diagnostic species: D.s. All. = D.s. Ord.

**Association Calamito suckowii–Cyathocarpetum densifoliae**

Shchogolev et Boyarina 2023

Diagnostic species: *Acitheca polymorpha*, *Annularia mucronata*, *A. sphenophylloides*, *A. ex gr. stellata*, *Asterophyllites equisetiformis*, *Calamites medulatus*, *C. suckowii*, *Calamostachys germanica*, *Cyathocarpus arboreus*, *C. cyatheus*, *C. densifolius*, *C. hemitelioides*, *Diplazites unitus*, *Nemejcopteris feminaeformis*, *Odontopteris cantabrica*, *'Pecopteris' jongmansii*, *'Pecopteris' platonii*, and *'Pecopteris' truncata*.

**Class Sigillario–Odontopteridetea** Boyarina 2023

Tropical wetland forests on deltaic plains with sigillarian arborescent lycopsids, pteridosperm shrubs and marattialean tree ferns.

Diagnostic species: *Annularia mucronata*, *Barthelopteris germarii*, *Calamites multiramis*, *C. suckowii*, *Cordaites* sp., *Neuropteris crassinervis*, *Neurodontopteris auriculata*, *Odontopteris schlotheimii*, *'Pecopteris' mironovana*, *'Pecopteris' paleacea*, *'Pecopteris' platonii*, *'Pecopteris' potonieii*, *Subsigillaria brardii*, *S. donetiana*, *S. fimbriata*, *S. simplex*, and *Syringodendron brardii*.

**Order Subsigillario–Odontopteridetalia schlotheimii** Boyarina 2023

Subsigillarian lycopsid-pteridosperm and calamitalean-fern forests of deltaic plains.

Diagnostic species: *Annularia mucronata*, *Asterophyllites equisetiformis*, *Barthelopteris germarii*, *Calamites multiramis*, *C. suckowii*, *Cordaites* sp., *Neuropteris crassinervis*, *Neurodontopteris auriculata*, *Odontopteris schlotheimii*, *'Pecopteris' mironovana*, *'Pecopteris' paleacea*, *'Pecopteris' platonii*, *'Pecopteris' potonieii*, *Remia* aff. *pinnatifida*, *Sphenopteris rossica*, *Sigillariostrobophyllum* sp., *Subsigillaria brardii*, *S. donetiana*, *S. fimbriata*, *S. simplex*, and *Syringodendron brardii*.

**Alliance Subsigillario brardii–Odontopteridion schlotheimii** Boyarina 2023

Lycopsid-pteridosperm-calamitalean-fern communities of deltaic plains.

Diagnostic species: *Annularia mucronata*, *Asterophyllites equisetiformis*, *Barthelopteris germarii*, *Calamites suckowii*, *Cordaites* sp., *Neuropteris crassinervis*, *Neurodontopteris auriculata*, *Odontopteris schlotheimii*, *'Pecopteris' mironovana*, *'Pecopteris' paleacea*, *'Pecopteris' platonii*, *'Pecopteris' potonieii*, *Remia* aff. *pinnatifida*, *Sphenopteris rossica*, *Sigillariostrobophyllum* sp., *Subsigillaria brardii*, *S. donetiana*, *S. fimbriata*, *S. simplex*, and *Syringodendron brardii*.

**Association Subsigillario brardii–Odontopteridetum schlotheimii** Boyarina 2023

Diagnostic species: *Annularia mucronata*, *A. sphenophylloides*, *Asterophyllites equisetiformis*, *Barthelopteris germarii*, *Calamites suckowii*, *C. cf. schutzeiformis*, *Cordaites* sp., *Cyathocarpus hemitelioides*, *Neuropteris crassinervis*, *Neurodontopteris auriculata*, *Odontopteris schlotheimii*, *'Pecopteris' mironovana*, *'Pecopteris' paleacea*, *'Pecopteris' platonii*, *'Pecopteris' potonieii*, *Remia* aff. *pinnatifida*, *Sphenopteris rossica*, *Sigillariostrobophyllum* sp., *Subsigillaria brardii*, *S. donetiana*, *S. fimbriata*, *S. simplex*, and *Syringodendron brardii*.

**Alliance Annulario mucronatae–'Pecopteridion' paleaceae** Boyarina 2023

Calamitalean-fern communities of deltaic lake shores.

Diagnostic species: *Annularia mucronata*, *Calamites multiramis*, *Odontopteris schlotheimii*, and *'Pecopteris' paleacea*.

**Association *Annulario mucronatae*–‘*Pecopteridetum*’ *paleaceae*** Boyarina 2023

Diagnostic species: *Annularia mucronata*, *Calamites multiramis*, *Odontopteris schlotheimii*, and ‘*Pecopteris*’ *paleacea*.

**Class *Cordaito*–*Odontopteridetea*** Boyarina 2023

Tropical seasonally dry woodlands in river valleys with arborescent cordaitaleans and pteridosperm shrubs.

Diagnostic species: *Cordaites* sp., *Odontopteris subcrenulata*.

**Order *Cordaito*–*Odontopteridetalia subcrenulatae*** Boyarina 2023

Cordaitalean woodlands with pteridosperm shrubs of river valleys.

Diagnostic species: D.s. Ord. = D.s. Cl.

**Alliance *Cordaito*–*Odontopteridion subcrenulatae*** Boyarina 2023

Cordaitean-pteridosperm communities of floodplains and river valley slopes.

Diagnostic species: D.s. All. = D.s. Ord.

**Association *Cordaito*–*Odontopteridetum subcrenulatae*** Shchogolev et Boyarina 2023

Diagnostic species: *Cordaites* sp., *Odontopteris subcrenulata*.

**Class *Walchietea*** Boyarina 2023

Tropical seasonally dry woodlands in river valleys with conifers.

Diagnostic species: *Otovicia hypnoides*, *Walchia piniformis*.

**Order *Otovicietalia hypnoidis*** Boyarina 2023

Walchian conifer woodlands of river valleys.

Diagnostic species: D.s. Ord. = D.s. Cl.

**Alliance *Otovicion hypnoidis*** Boyarina 2023

Conifer communities of river valley slopes.

Diagnostic species: D.s. All. = D.s. Ord.

**Association *Otovicietum hypnoidis*** Shchogolev et Boyarina 2023

Diagnostic species: *Otovicia hypnoides*, *Walchia piniformis*.

### 2.3. Composition and phytocoenogenesis of the Kalynovian vegetation

The Kalynovian vegetation of the Donets Basin consisted of the wetland forests on coastal lowlands and deltaic plains, seasonally dry woodlands in river valleys and semi-aquatic sphenopsid thickets. The plant communities of the mentioned vegetation types were assigned to four new orders in the composition of three same classes as in the Toretskian time and one new class (see: Fig. 3). The semi-aquatic sphenopsids, forming the thickets in the shallow parts of lakes within coastal lowlands and deltaic plains, are characterised by the same species composition with the same dominants, and therefore belong to the same order *Sphenophyllo oblongifolii*–*Calamitetalia suckowii* and class *Sphenophyllo*–*Calamitetea* as in the Toretskian time.

The wetland forests both on coastal lowlands and deltaic plains had experienced the changes in the species composition and dominants of communities. Thus, the fern-pteridosperm communities of the alliance *Neuropteridion ovatae* disappeared from the forests of coastal lowlands. These forests began to consist of the communities of the new order *Calamito suckowii*–*Cyathocarpetalia densifoliae* with the alliance *Calamito suckowii*–*Cyathocarpion densifoliae*. The calamitalean-fern communities of this alliance were widespread on the lake shores of coastal lowlands. They included the new species of the ferns with the foliage of *Cyathocarpus densifolius* (Goepfert) Šimůnek et Ploch, ‘*Pecopteris*’ *platonii* Grand'Eury, ‘*Pecopteris*’ *oreopteridia* (Schlotheim) Sternberg, as well as were characterised by the domination of the ferns *Cyathocarpus densifolius* and the increased species abundance of the ferns with the foliage of *Cyathocarpus arboreus*, ‘*Pecopteris*’ *bredovii* Germar, *Diplazites unitus* (Brongniart) Cleal, *Nemejcopteris feminaeformis*. These changes testify to the progressive development of the

calamitalean-fern communities and the formation of these communities according to the evolutionary progressive model of phytocoenogenesis [Boyarina 2022].

Against the background of the syntaxonomic reduction of lowland forests, the communities of wetland forests within deltaic plains of the new class *Sigillario–Odontopteridetea* expanded their composition. These forests are represented by the order *Subsigillario–Odontopteridetalia schlotheimii* with two alliances. The calamitean-fern communities of the alliance *Annulario mucronatae–Pecopteridetum paleaceae* occupied the shores of deltaic lakes. They included the ferns with the foliage of *Pecopteris paleaceae* Zeiller, the calamitaleans with the stems of *Calamites multiramis* Weiss and the calamitaleans with the leafy shoots of *Annularia mucronata* Schenk. The communities consisting of lycopsids, calamitaleans, ferns and pteridosperms of the alliance *Subsigillario brardii–Odontopteridion schlotheimii* were widespread within deltaic plains. The diagnostic species of this alliance reflect the significant changes that manifested in the increase of the species diversity of calamitaleans, ferns, odontopterid and neuropterid pteridosperms. Particularly, the vegetation of deltaic plains was replenished by both new pteridosperm and fern species and some species of ferns that grew within coastal lowlands in the Toretskian time. The species composition of lycopsids was supplemented with two species along with the overall decrease of species. In general, the composition of plant communities of the order *Subsigillario–Odontopteridetalia schlotheimii* was complemented by 10 species, including the endemic species *Subsigillaria simplex* Shchegolev, *S. donetiana* Shchegolev, *Pecopteris mironovana* Zalesky et Tschirkova. These phytocoenotic features indicate the progressive development and formation of the plant communities of deltaic plains under the evolutionary progressive model of phytocoenogenesis [Boyarina 2022]. And, as noted above, the increase of the number of plant fossil assemblages in more common deltaic-fluvial deposits in the upper part of the Kalynovian (Troyitskian) shows that the lycopsid-pteridosperm communities of the order *Subsigillario–Odontopteridetalia schlotheimii* of deltaic plains had become more spread than calamitalean-fern communities of coastal lowlands in the late Kalynovian (Troyitskian) time.

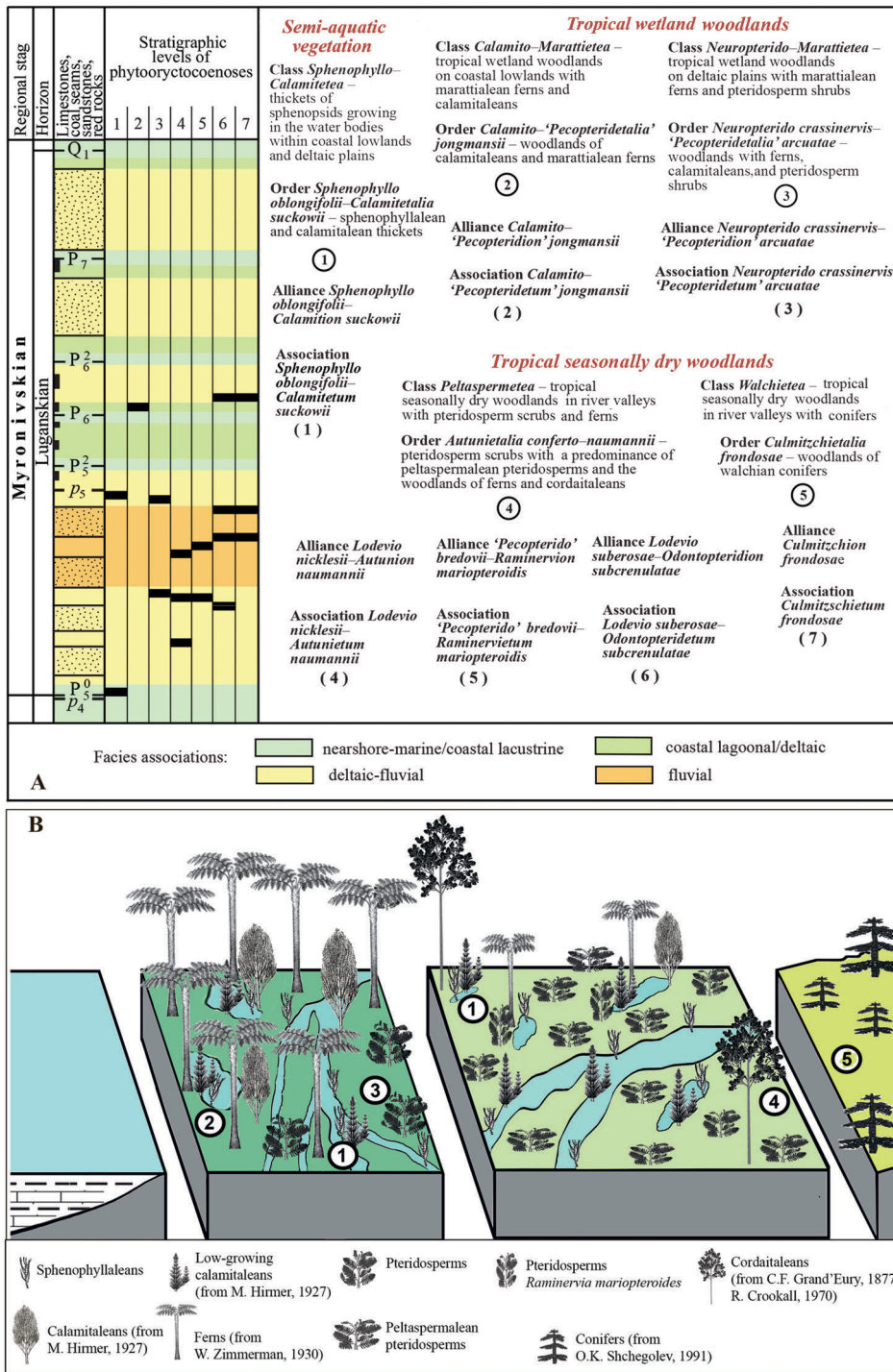
The vegetation of seasonally dry environments was represented by cordaitan-pteridosperm and conifer woodlands in river valleys. The reconstructed cordaitan-pteridosperm communities of river valleys demonstrate the same floristic composition as in the Toretskian. The single remains of the pteridosperms *Barthelopteris germarii* (Giebel) Zodrow et Cleal and *Taeniopteris gigantea* Schenk mentioned from the upper Toretskian and Kalynovian deposits [Shchegolev 1975], which were not included in diagnostic species, testify only to the few increased species diversities from the end of the Toretskian without the change of the phytocoenotic properties of species. And so, the seasonally dry woodlands of river valleys are assigned to the same order *Cordaito–Odontopteridetalia subcrenulatae*, as in the Toretskian time. The conifer communities of river valley slopes were identified to the new order *Otovicietalia hypnoidis* with a poorer species composition than in the Toretskian.

Consequently, in the Kalynovian time the wetland lycopsid-pteridosperm-dominated forests of deltaic plains and the wetland fern-dominated forests of coastal lowlands were widespread, while the seasonally dry cordaitan-pteridosperm and conifer woodlands of river valleys were less represented in vegetation cover as in the Toretskian time.

### 3. The middle Gzhelian (Luganskian) vegetation

#### 3.1. Environmental and palaeophytocoenotic interpretations

The Luganskian plant-bearing strata are composed of deposits belonging to four facies associations as in the Toretskian and Kalynovian, i.e. nearshore-marine/coastal lacustrine, coastal lagoonal/deltaic, deltaic-fluvial, and fluvial (Fig. 4). The same facies associations have their specifics. The Luganskian section is characterised by the continued reduction of nearshore-marine/coastal lacustrine facies and the predominance of deltaic-fluvial and fluvial facies that indicate the greater role of river environments in landscape. The differences are also observed in the distribution of plant fossils. Thus,



**Fig. 4.** Syntaxonomic composition and reconstruction of the middle Gzhelian (Luganskian) vegetation cover of the Donets Basin: (A) stratigraphic position and facial confinement of the phytooryctocoenoses, on the basis of which the plant associations were identified (association numbers in parentheses); (B) diagrammatic representation of the distribution of plant communities at the rank of orders of different landscape types (order numbers in a circle).

**Рис. 4.** Синтаксономічний склад та реконструкція рослинного покриву Донецького басейну в середньогзельській (луганський) час: (А) стратиграфічне положення та фацияльна належність фітоориктоценозів, на основі яких встановлені рослинні асоціації (номера асоціацій в дужках); (Б) схематичне зображення поширення рослинних угруповань в ранзі порядків різних типів ландшафту (номера порядків в колі).

the plant fossil assemblages were found only in the lower part of the Luganskian, to the P<sub>6</sub><sup>2</sup> limestone. And besides, the plant remains are reduced in the deposits of the first two facies associations and abundant in the deposits of deltaic-fluvial and fluvial facies. The single plant remains in coastal lacustrine and deltaic facies testify to the reduction of wetland calamitalean-fern forests on coastal lowlands and pteridosperm-fern-calamitalean forests of deltaic plains in the Luganskian time. But at the same time, the fairly common plant fossil assemblages in deltaic-fluvial and fluvial facies contain the numerous callipterid pteridosperms together with other pteridosperms, cordaitaleans and conifers. Hence, we may conclude that the pteridosperm communities of floodplains, which were reconstructed on the basis of three phytooryctocoenoses with the large number of callipterid pteridosperm remains in lacustrine-floodplain deposits, as well as the cordaitalean-pteridosperm communities of river levees and river valley slopes, which were determined on the basis of four phytooryctocoenoses from sandstone and siltstone floodplain strata, were predominant within river valleys. Based on plant fossils from two phytooryctocoenoses in lacustrine deposits within fluvial strata, the pteridosperm-fern communities of the shores of floodplain lakes were identified. The plant association of the conifer communities on river valley slopes was reconstructed on the basis of three phytooryctocoenoses from siltstone floodplain deposits. These plant fossil assemblages testify to an increasing role of the seasonally dry woodlands, including pteridosperm and conifer communities of floodplains and river valley slopes in the Luganskian vegetation cover.

### 3.2. Prodrum and diagnostic species of palaeosyntaxa of the Luganskian vegetation

#### **Class *Sphenophyllo–Calamitetea* Boyarina 2023**

Thickets of semi-aquatic sphenopsids growing in water bodies within coastal lowlands and deltaic plains.

Diagnostic species: *Annularia* ex gr. *stellata*, *Asterophyllites equisetiformis*, *Calamites cistii*, *C. suckowii*, *Sphenophyllum longifolium*, and *S. oblongifolium*.

#### **Order *Sphenophyllo oblongifolii–Calamitetalia suckowii* Boyarina 2023**

Sphenophyllalean and calamitalean thickets of water bodies within coastal lowlands and deltaic plains.

Diagnostic species: D.s. Ord. = D.s. Cl.

#### **Alliance *Sphenophyllo oblongifolii–Calamition suckowii* Boyarina 2023**

Sphenophyllalean-calamitalean communities of the shallow parts of coastal lakes and lakes within deltaic plains.

Diagnostic species: D.s. All. = D.s. Ord.

#### **Association *Sphenophyllo oblongifolii–Calamitetum suckowii***

Shchogolev et Boyarina 2023

Diagnostic species: *Annularia* ex gr. *stellata*, *Asterophyllites equisetiformis*, *Calamites cistii*, *C. suckowii*, *Sphenophyllum longifolium*, and *S. oblongifolium*.

#### **Class *Calamito–Marattietea* Boyarina 2023**

Tropical wetland woodlands on coastal lowlands with marattialean tree ferns and calamitaleans.

Diagnostic species: *Calamites* sp., *Cyathocarpus daubreei*, '*Pecopteris*' *jongmansii*, '*Pecopteris*' *martinezii*, '*Pecopteris*' *monyi*, '*Pecopteris*' *oreopteridia*, and *Sphenopteris fayolii-mathetii*.

#### **Order *Calamito–Pecopteridetalia* *jongmansii* Boyarina 2023**

Woodlands with calamitaleans and marattialean tree ferns on coastal lowlands.

Diagnostic species: *Calamites* sp., *Cyathocarpus daubreei*, '*Pecopteris*' *jongmansii*, '*Pecopteris*' *martinezii*, '*Pecopteris*' *monyi*, '*Pecopteris*' *oreopteridia*, *Sphenopteris* cf. *castelli*, and *S. fayolii-mathetii*.

**Alliance Calamito–‘Pecopteridion’ jongmansii** Boyarina 2023

Calamitalean-fern communities on lake shores within coastal lowlands.

Diagnostic species: D.s. All. = D.s. Ord.

**Association Calamito–‘Pecopteridetum’ jongmansii** Boyarina et Shchogolev 2023

Diagnostic species: *Calamites* sp., *Cyathocarpus daubreei*, ‘*Pecopteris*’ *jongmansii*, ‘*Pecopteris*’ *martinezii*, ‘*Pecopteris*’ *monyi*, ‘*Pecopteris*’ *oreopteridia*, *Sphenopteris* cf. *castelli*, and *S. fayolii-mathetii*.

**Class Neuropterido–Marattietea** Boyarina 2023

Tropical wetland woodlands on deltaic plains with marattialean tree ferns and pteridosperm shrubs.

Diagnostic species: *Neuropteris crassinervis*, *Neurodontopteris auriculata*, and ‘*Pecopteris*’ *arcuata*.

**Order Neuropterido crassinervis–‘Pecopteridetalia’ arcuatae** Boyarina 2023

Woodlands with tree ferns, calamitaleans, and pteridosperm shrubs on deltaic plains.

Diagnostic species: *Calamites suckowii*, *Calamites* sp., *Neuropteris crassinervis*, *Neurodontopteris auriculata*, and ‘*Pecopteris*’ *arcuata*.

**Alliance Neuropterido crassinervis–‘Pecopteridion’ arcuatae** Boyarina 2023

Pteridosperm-fern-calamitalean communities of deltaic plains.

Diagnostic species: D.s. All. = D.s. Ord.

**Association Neuropterido crassinervis–‘Pecopteridetum’ arcuatae**

Shchogolev et Boyarina 2023

Diagnostic species: *Calamites suckowii*, *Calamites* sp., *Neuropteris crassinervis*, *Neurodontopteris auriculata*, and ‘*Pecopteris*’ *arcuata*.

**Class Peltaspermetea** Boyarina 2023

Tropical seasonally dry woodlands in river valleys with pteridosperm scrubs and tree ferns.

Diagnostic species: *Autunia conferta*, *A. naumannii*, *Cordaites* sp., *Culmizschia frondosa* *Dichophyllum cuneatum*, *D. flabelliferum*, *Lodevia luganica*, *L. nicklesii*, *L. suberosa*, *Neurocallipteris planchardii*, *Neurodontopteris auriculata*, *Odontopteris brardii*, *O. lingulata*, *O. schlotheimii*, *O. subcrenulata*, *Otoviccia hypnoides*, ‘*Pecopteris*’ *bredovii*, *Polymorphopteris subelegans*, *Raminervia mariopteroides*, *Sphenocallipteris scythica*, and *Sphenopteris fayolii*.

**Order Autunietalia conferto–naumannii** Boyarina 2023

Pteridosperm scrubs with a predominance of peltaspermalen pteridosperms and the woodlands of tree ferns and arborescent cordaitaleans in river valleys.

Diagnostic species: D.s. Ord. = D.s. Cl.

**Alliance Lodevio nicklesii–Autunium naumannii** Boyarina 2023

Pteridosperm communities of floodplains.

Diagnostic species: *Autunia conferta*, *A. naumannii*, *Dichophyllum cuneatum*, *Lodevia luganica*, *L. nicklesii*, *L. suberosa*, *Neurocallipteris planchardii*, *Neurodontopteris auriculata*, *Odontopteris lingulata*, *O. subcrenulata*, and *Polymorphopteris subelegans*.

**Association Lodevio nicklesii–Autunietum naumannii** Boyarina et Shchogolev 2023

Diagnostic species: *Autunia conferta*, *A. naumannii*, *Dichophyllum cuneatum*, *Lodevia luganica*, *L. nicklesii*, *L. suberosa*, *Neurocallipteris planchardii*, *Neurodontopteris auriculata*, *Odontopteris lingulata*, *O. subcrenulata*, and *Polymorphopteris subelegans*.

**Alliance ‘Pecopterido’ bredovii–Raminervion mariopteroidis** Boyarina 2023

Pteridosperm-fern communities of lake shores within floodplains.

Diagnostic species: ‘*Pecopteris*’ *bredovii*, *Raminervia mariopteroides*, and *Sphenopteris fayolii*.

**Association ‘Pecopterido’ bredovii–Raminervietum mariopteroidis** Boyarina 2023

Diagnostic species: *Asterophyllites equisetiformis*, ‘*Pecopteris*’ *bredovii*, *Raminervia mariopteroides*, and *Sphenopteris fayolii*.

### **Alliance *Lodevio suberosae*–*Odontopteridion subcrenulatae*** Boyarina 2023

Cordaitean-pteridosperm communities of levees and river valley slopes.

Diagnostic species: *Autunia conferta*, *A. naumannii*, *Cordaites* sp., *Culmitzschia frondosa* *Dichophyllum cuneatum*, *D. flabelliferum*, *Lodevia luganica*, *L. nicklesii*, *L. suberosa*, *Neurocallipteris* cf. *planchardii*, *Neurodopteris auriculata*, *Odontopteris brardii*, *O. schlotheimii*, *Odontopteris subcrenulata*, *Otoviccia hypnoides*, and *Sphenocallipteris scythica*.

### **Association *Lodevio suberosae*–*Odontopteridetum subcrenulatae***

Boyarina et Shchogolev 2023

Diagnostic species: *Autunia conferta*, *A. naumannii*, *Calamites cistii*, *C. suckowii*, *Cordaites* sp., *Culmitzschia frondosa* *Dichophyllum cuneatum*, *D. flabelliferum*, *Lodevia luganica*, *L. nicklesii*, *L. suberosa*, *Neurocallipteris* cf. *planchardii*, *Neurodopteris auriculata*, *Odontopteris brardii*, *O. schlotheimii*, *Odontopteris subcrenulata*, *Otoviccia hypnoides*, '*Pecopteris*' cf. *platonii*, and *Sphenocallipteris scythica*.

### **Class *Walchietea*** Boyarina 2023

Tropical seasonally dry woodlands in river valleys with conifers.

Diagnostic species: *Culmitzchia frondosa*, *Otoviccia hypnoides*, *Samarospermum moravicum*, and *Walchia piniformis*.

### **Order *Culmitzchietalia frondosae*** Boyarina 2023

Walchian conifer woodlands of river valleys.

Diagnostic species: *Culmitzchia frondosa*, *Otoviccia hypnoides*, *Samaropsis bachmutiensis*, *S. spinifera*, and *Samarospermum moravicum*.

### **Alliance *Culmitzchion frondosae*** Boyarina 2023

Conifer communities of river valley slopes.

Diagnostic species: D.s. All. = D.s. Ord.

### **Association *Culmitzchietum frondosae*** Boyarina 2023

Diagnostic species: *Culmitzchia frondosa*, *Otoviccia hypnoides*, *Samaropsis bachmutiensis*, *S. spinifera*, and *Samarospermum moravicum*.

## **3.3. Composition and phytocoenogenesis of the Luganskian vegetation**

The Luganskian vegetation of the Donets Basin consisted of the semi-aquatic sphenopsid thickets and the woodlands of wetland and seasonally dry habitats that were assigned to five classes, three of which are new (see: Fig. 4). The foregoing prodromus reflects the transformation of vegetation cover as a whole. The main changes were the appearance of wetland woodlands on coastal lowlands and deltaic plains as well as seasonally dry peltaspermalen pteridosperm-dominated woodlands in river valleys.

The semi-aquatic vegetation of lake shores in the Luganskian time was characterised by a small reduction in species richness of the same order *Sphenophyllo oblongifolii*–*Calamitetalia suckowii* in the composition of the same class *Sphenophyllo*–*Calamitetea* as in the Toretskian and Kalynovian times.

The vegetation changes of coastal lowlands and deltaic plains, which started back in the end of the Kalynovian, were manifested in the decrease of the species diversity and species abundance of wetland forests in the beginning of the Luganskian as evidenced by sporadic fossil assemblages with rare plant remains. The decrease of the species diversity of wetland forests was accompanied by the structure simplification and dominant substitution of the plant communities on coastal lowlands and deltaic plains, reflecting the regressive development of palaeophytocoenoses, that led to the transformation of wetland forests to wetland woodlands and the formation of new communities according to the substitutionary regressive model of phytocoenogenesis [Boyarina 2022]. The significantly reduced wetland forests on coastal lowlands of the class *Marattietea* were replaced by the wetland woodlands that were recognised as the new class *Calamito*–*Marattietea* with the order *Calamito*–'*Pecopteridetalia*' *jongmansii*. The plant communities of this order were characterised by the decreased

species diversity. And in so doing, the main role in the communities became to belong to the ferns with small pinnules (*Cyathocarpus arboreus*, '*Pecopteris*' *jongmansii* Wagner, '*Pecopteris*' *martinezii* Stockmans et Willière, '*Pecopteris*' *monyi* Zeiller) and the ferns, which had the pinnules with fine hairs on its surface (*Cyathocarpus daubreei* (Zeiller) De Stefani). The changed vegetation of deltaic plains constituted of the calamitalen-fern woodlands with pteridosperm shrubs of the order *Neuropterido crassinervis*-'*Pecopteridetalia*' *arcuatae* with the one alliance *Neuropterido crassinervis*-'*Pecopteridion*' *arcuatae* in the composition of the new class *Neuropterido-Marattietea*.

The seasonally dry vegetation of fluvial landscapes during the Luganskian time became widespread and had high species richness, as indicated by the numerous plant fossil assemblages with a rich floristic composition in floodplain and floodplain-lacustrine deposits. The vegetation cover of river valleys consisted of peltaspermalean pteridosperm scrubs with the woodlands of tree ferns and arborescent cordaitaleans of the new class *Peltaspermetea* including the order *Autunietalia confertonaumannii* with three alliances. The communities of the alliance *Lodevio nicklesii*-*Autunion naumannii* occupied floodplains. They were dominated by the pteridosperms with the foliage of *Autunia naumannii* (Gutbier) Kerp, *A. conferta* (Sternberg) Kerp, *Lodevia nicklesii* (Zeiller) Haubold et Kerp, and *L. luganica* (Boyarina et Shchegolev) Boyarina. The plant communities of the shores of floodplain lakes belong to the alliance '*Pecopterido*' *bredovii*-*Raminervion mariopteroidis*. These communities included the pteridosperms with the callipterid foliage of *Raminervia mariopteroides* Boyarina and the ferns with the foliage of '*Pecopteris*' *bredovii*, *Sphenopteris fayolii* Zeiller. The alliance *Lodevio suberosae*-*Odontopteridion subcrenulatae* unites the communities of peltaspermalean and medullo-salean pteridosperms and cordaitaleans, which inhabited river levees and river valley slopes. The appearance of evolutionary new peltaspermalean pteridosperms in the conditions of the expansion of fluvial landscapes reflects the progressive development and formation of palaeophytocoenoses under the evolutionary progressive model of phytocoenogenesis [Boyarina 2022]. The conifer communities were identified as the coniferous woodlands of the order *Culmitschietalia frondosae*, growing on river valley slopes and interfluves.

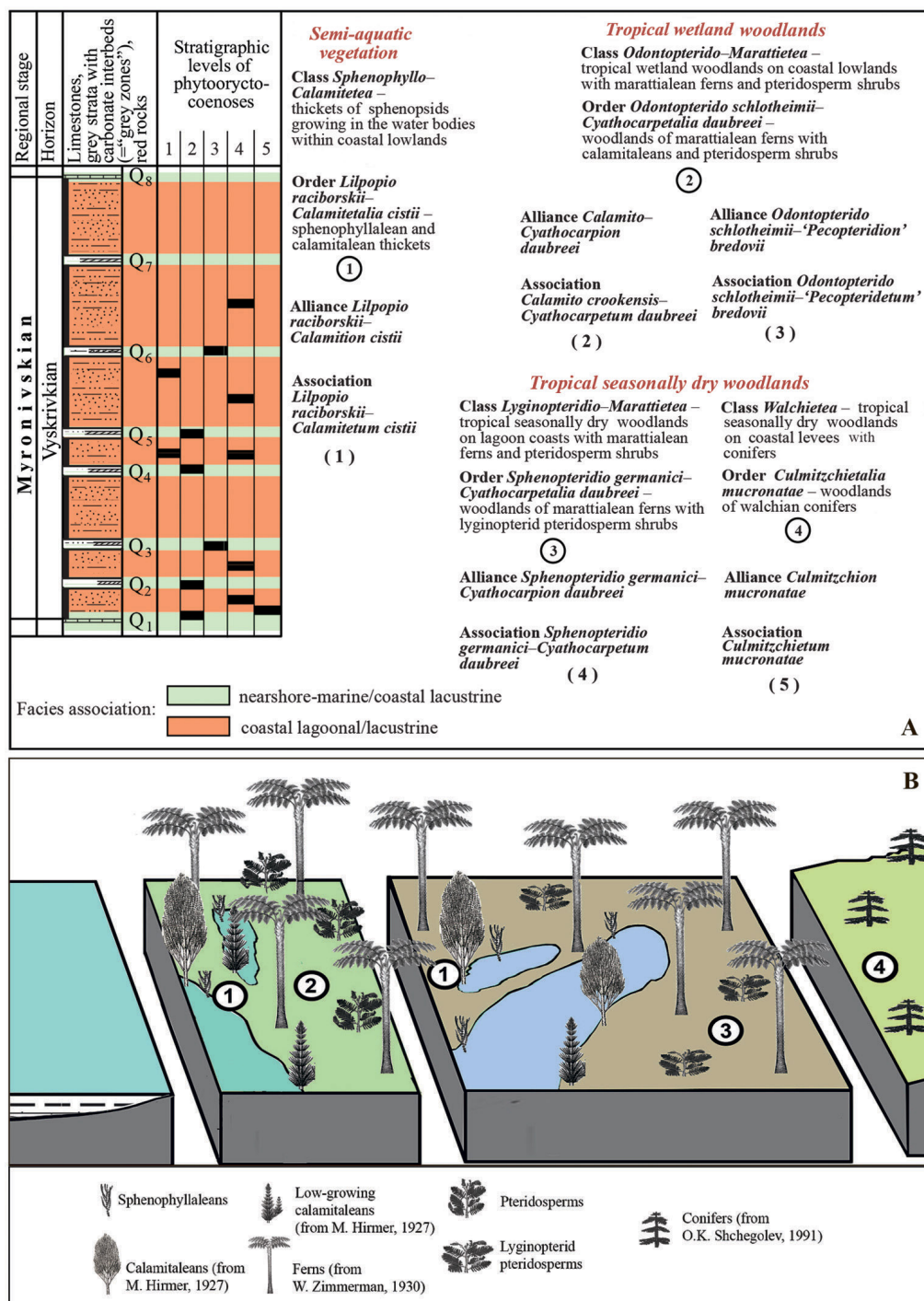
The Luganskian vegetation cover was overall characterised by the transformation of wetland forests to wetland woodlands on coastal lowlands and deltaic plains as well as the widespreading of seasonally dry pteridosperm scrubs with a predominance of peltaspermalean pteridosperms in river valleys.

## 4. The late Gzhelian (Vyskrivkian) vegetation

### 4.1. Environmental and palaeophytocoenotic interpretations

The Vyskrivkian plant-bearing strata relate to two facies associations, namely nearshore-marine/coastal lacustrine (grey beds) and coastal lagoonal/lacustrine (red beds) (Fig. 5). The phytooryctocoenoses mainly occur in the lower part of the Vyskrivkian, to the Q<sub>6</sub> carbonate interbed. The plant fossil assemblages of seven phytooryctocoenoses, which were found in both grey coastal lacustrine and red lagoonal/lacustrine facies, were assigned to the plant association of semi-aquatic sphenophyll-calamitalean communities of the shallow parts of lagoons and coastal lakes. Six phytooryctocoenoses including the plant fossil assemblages with calamitaleans, ferns and pteridosperms were found in grey lacustrine deposits occasionally with carbonate beds (nearshore-marine/coastal lacustrine facies association).

These plant fossils were used for reconstruction of the calamitalean-fern communities (four assemblages) and pteridosperm-fern communities (two assemblages) of coastal lowlands. The red lagoonal/lacustrine facies bear the rare fern, pteridosperm and conifer remains that indicate the seasonally dry vegetation of lagoon coasts, including pteridosperm-fern communities and conifer communities. The plant association of pteridosperm-fern communities of the shores of lagoons and lakes was determined on the basis of five phytooryctocoenoses from lagoonal and lacustrine deposits. The phytooryctocoenosis, containing the fragment of a coniferous branch in the brownish-red sandstone



**Fig. 5.** Syntaxonomic composition and reconstruction of the late Gzhelian (Vyskrivkian) vegetation cover of the Donets Basin: (A) stratigraphic position and facial confinement of the phytooryctocoenoses, on the basis of which the plant associations were identified (association numbers in parentheses); (B) diagrammatic representation of the distribution of plant communities at the rank of orders of different landscape types (order numbers in a circle).

**Рис. 5.** Синтаксономічний склад та реконструкція рослинного покриву Донецького басейну в пізньогзельський (вискрівський) час: (A) стратиграфічне положення та фацияльна належність фітоориктоценозів, на основі яких встановлені рослинні асоціації (номера асоціацій в дужках); (B) схематичне зображення поширення рослинних угруповань в ранзі порядків різних типів ландшафту (номера порядків в колі).

bed within red lacustrine/lagoonal deposits, testifies to growth of conifer communities on coastal levees. All above-mentioned phytosociocoenoses with rare plant fossils point to the spread of the low-density vegetation (woodlands) within coastal lowlands and lagoon coasts.

## 4.2. Prodrum and diagnostic species of palaeosyntaxa of the Vyskrivkian vegetation

### **Class *Sphenophyllo–Calamitetea* Boyarina 2023**

Thickets of semi-aquatic sphenopsids growing in water bodies within coastal lowlands.

Diagnostic species: *Asterophyllites equisetiformis*, *Calamites carinatus*, *C. cistii*, *C. crookensis*, *C. multiramus*, *C. paleaceus*, *C. vandergrachtii*, *Lilpopia raciborskii*, and *Sphenophyllum verticillatum*.

### **Order *Lilpopia raciborskii–Calamitetalia cistii* Boyarina 2023**

Sphenophyllalean and calamitalean thickets growing in water bodies within coastal lowlands.

Diagnostic species: D.s. Ord. = D.s. Cl.

### **Alliance *Lilpopia raciborskii–Calamition cistii* Boyarina 2023**

Sphenophyllalean-calamitalean communities of the shallow parts of lagoons and coastal lakes.

Diagnostic species: D.s. All. = D.s. Ord.

### **Association *Lilpopia raciborskii–Calamitetum cistii* Boyarina 2023**

Diagnostic species: *Asterophyllites equisetiformis*, *Calamites carinatus*, *C. cistii*, *C. crookensis*, *C. multiramus*, *C. paleaceus*, *C. vandergrachtii*, *Lilpopia raciborskii*, and *Sphenophyllum verticillatum*.

### **Class *Odontopterido–Marattietea* Boyarina 2023**

Tropical wetland woodlands on coastal lowlands with marattialean tree ferns and pteridosperm shrubs.

Diagnostic species: *Asterophyllites equisetiformis*, *Barthelopteris germarii*, *Calamites carinatus*, *C. cistii*, *C. crookensis*, *C. multiramus*, *C. paleaceus*, *C. vandergrachtii*, *Cyathocarpus arboreus*, *C. daubreei*, *C. hemitelioides*, *Diplazites unitus*, *Nemejcopteris feminaeformis*, *Pecopteris plumosa*, '*Pecopteris bredovii*', '*Pecopteris jongmansii*', '*Pecopteris martinezi*', '*Pecopteris monyi*', '*Pecopteris obliquenervis*', '*Pecopteris potonieii*', '*Pecopteris truncata*', '*Pecopteris*' cf. *viannae*, *Polymorphopteris subelegans*, *Odontopteris schlotheimii*, *O. subcrenulata*, and *Sphenopteris* cf. *fayolii*.

### **Order *Odontopterido schlotheimii–Cyathocarpetalia daubreei* Boyarina 2023**

Woodlands dominated by marattialean tree ferns with subordinate calamitaleans and pteridosperm shrubs on coastal lowlands.

Diagnostic species: D.s. Ord. = D.s. Cl.

### **Alliance *Calamito–Cyathocarpion daubreei* Boyarina 2023**

Calamitalean-fern communities of lake shores within coastal lowlands.

Diagnostic species: *Asterophyllites equisetiformis*, *Calamites carinatus*, *C. crookensis*, *C. multiramus*, *C. vandergrachtii*, *Cyathocarpus arboreus*, *C. daubreei*, *C. hemitelioides*, *Diplazites unitus*, *Pecopteris plumosa*, '*Pecopteris bredovii*', '*Pecopteris jongmansii*', '*Pecopteris martinezi*', '*Pecopteris obliquenervis*', '*Pecopteris potonieii*', '*Pecopteris truncata*', '*Pecopteris*' cf. *viannae*, and *Sphenopteris* cf. *fayolii*.

### **Association *Calamito crookensis–Cyathocarpetum daubreei* Boyarina 2023**

Diagnostic species: *Asterophyllites equisetiformis*, *Calamites carinatus*, *C. crookensis*, *C. multiramus*, *C. vandergrachtii*, *Cyathocarpus arboreus*, *C. daubreei*, *C. hemitelioides*, *Diplazites unitus*, *Pecopteris plumosa*, '*Pecopteris bredovii*', '*Pecopteris jongmansii*', '*Pecopteris martinezi*', '*Pecopteris obliquenervis*', '*Pecopteris potonieii*', '*Pecopteris truncata*', '*Pecopteris*' cf. *viannae*, and *Sphenopteris* cf. *fayolii*.

### **Alliance *Odontopterido schlotheimii–'Pecopteridion' bredovii* Boyarina 2023**

Pteridosperm-fern communities of coastal lowlands.

Diagnostic species: *Calamites cistii*, *C. paleaceus*, *Barthelopteris germarii*, *Nemejcopteris feminaeformis*, *Odontopteris schlotheimii*, *O. subcrenulata*, '*Pecopteris bredovii*', '*Pecopteris monyi*', and *Polymorphopteris subelegans*.

**Association *Odontopterido schlotheimii*–‘*Pecopteridetum*’ *bredovii*** Boyarina 2023

Diagnostic species: *Calamites cistii*, *C. paleaceus*, *Barthelopteris germarii*, *Nemejcopteris feminaeformis*, *Odontopteris schlotheimii*, *O. subcrenulata*, ‘*Pecopteris*’ *bredovii*, ‘*Pecopteris*’ *monyi*, and *Polymorphopteris subelegans*.

**Class *Lyginopteridio*–*Marattietea*** Boyarina 2023

Tropical seasonally dry woodlands on lagoon coasts with marattialean tree ferns and pteridosperm shrubs.

Diagnostic species: *Cyathocarpus arboreus*, *C. daubreei*, ‘*Pecopteris*’ cf. *bioti*, ‘*Pecopteris*’ *jongmansii*, *Polymorphopteris subelegans*, *Sphenocallipteris scythica*, and *Sphenopteridium germanicum*.

**Order *Sphenopteridio germanici*–*Cyathocarpetalia daubreei*** Boyarina 2023

Woodlands of marattialean tree ferns with lyginopterid pteridosperm shrubs on lagoon coasts.

Diagnostic species: D.s. Ord. = D.s. Cl.

**Alliance *Sphenopteridio germanici*–*Cyathocarpion daubreei*** Boyarina 2023

Fern-pteridosperm communities of the shores of lagoons and lakes.

Diagnostic species: D.s. All. = D.s. Ord.

**Association *Sphenopteridio germanici*–*Cyathocarpetum daubreei*** Boyarina 2023

Diagnostic species: *Calamites* sp., *Cyathocarpus arboreus*, *C. daubreei*, ‘*Pecopteris*’ cf. *bioti*, ‘*Pecopteris*’ *jongmansii*, *Polymorphopteris subelegans*, *Sphenocallipteris scythica*, and *Sphenopteridium germanicum*.

**Class *Walchietea*** Boyarina 2023

Tropical seasonally dry woodlands on coastal levees with conifers.

Diagnostic species: *Culmitzchietum mucronata*.

**Order *Culmitzchietalia mucronatae*** Boyarina 2023

Walchian conifer woodlands of coastal levees.

Diagnostic species: D.s. Ord. = D.s. Cl.

**Alliance *Culmitzchion mucronatae*** Boyarina 2023

Conifer communities of coastal levees.

Diagnostic species: D.s. All. = D.s. Ord.

**Association *Culmitzchietum mucronatae*** Boyarina 2023

Diagnostic species: *Culmitzchietum mucronata*.

### 4.3. Composition and phytocoenogenesis of the Vyskrivkian vegetation

The Vyskrivkian vegetation of the Donets Basin was comprised of semi-aquatic sphenopsid thickets, wetland and seasonally dry woodlands as in the Luganskian time, but with a slightly different floristic composition and other dominants (see: Fig. 5). The Vyskrivkian plant communities were assigned to four classes, two of which are new, and four new orders. The semi-aquatic sphenopsids of water bodies belong to the order *Lilpopio raciborskii*–*Calamitetalia cistii* of the class *Sphenophyllo-Calamitetea*. The sphenopsid thickets grew in the shallow parts of lagoons and coastal lakes. The wetland woodland communities of coastal lowlands with a relatively rich species composition were assigned to the class *Odontopterido*–*Marattietea* with the order *Odontopterido schlotheimii*–*Cyathocarpetalia daubreei* and two alliances. The calamitalean-fern communities of the alliance *Calamito*–*Cyathocarpion daubreei* inhabited lake shores. These communities included the ferns of a diverse species composition, among which the ferns with the foliage of *Cyathocarpus daubreei* (Zeiller) De Stefani were dominated. The pteridosperm-fern communities of the alliance *Odontopterido schlotheimii*–‘*Pecopteridetum*’ *bredovii* with a not very diverse species composition grew within coastal lowlands. Seasonally dry vegetation consisted of the woodlands of two classes. The fern woodlands with pteridosperm shrubs of the order *Sphenopteridio germanici*–*Cyathocarpetalia daubreei* in the composition

of the class *Lyginopteridio–Marattietea* grew on the shores of lakes and lagoons within lagoon coasts. The ferns with the foliage of *Cyathocarpus daubreei* were more common than others. The coniferous woodlands of the order *Culmitzchietalia mucronatae* occupied, apparently, coastal levees and raised areas within lagoon coasts with better-drained substrates.

The mentioned new wetland and seasonally dry woodland communities developed in the conditions of the expansion of coastal lowlands and lagoon coasts with lakes along with the reduction of deltaic plains and river valleys. These environmental changes were accompanied by the migration of plants from decreasing to expanding landscape types, which led to the progressive development and formation of the new communities according to the migration progressive model of phytocoenogenesis [Boyarina 2022].

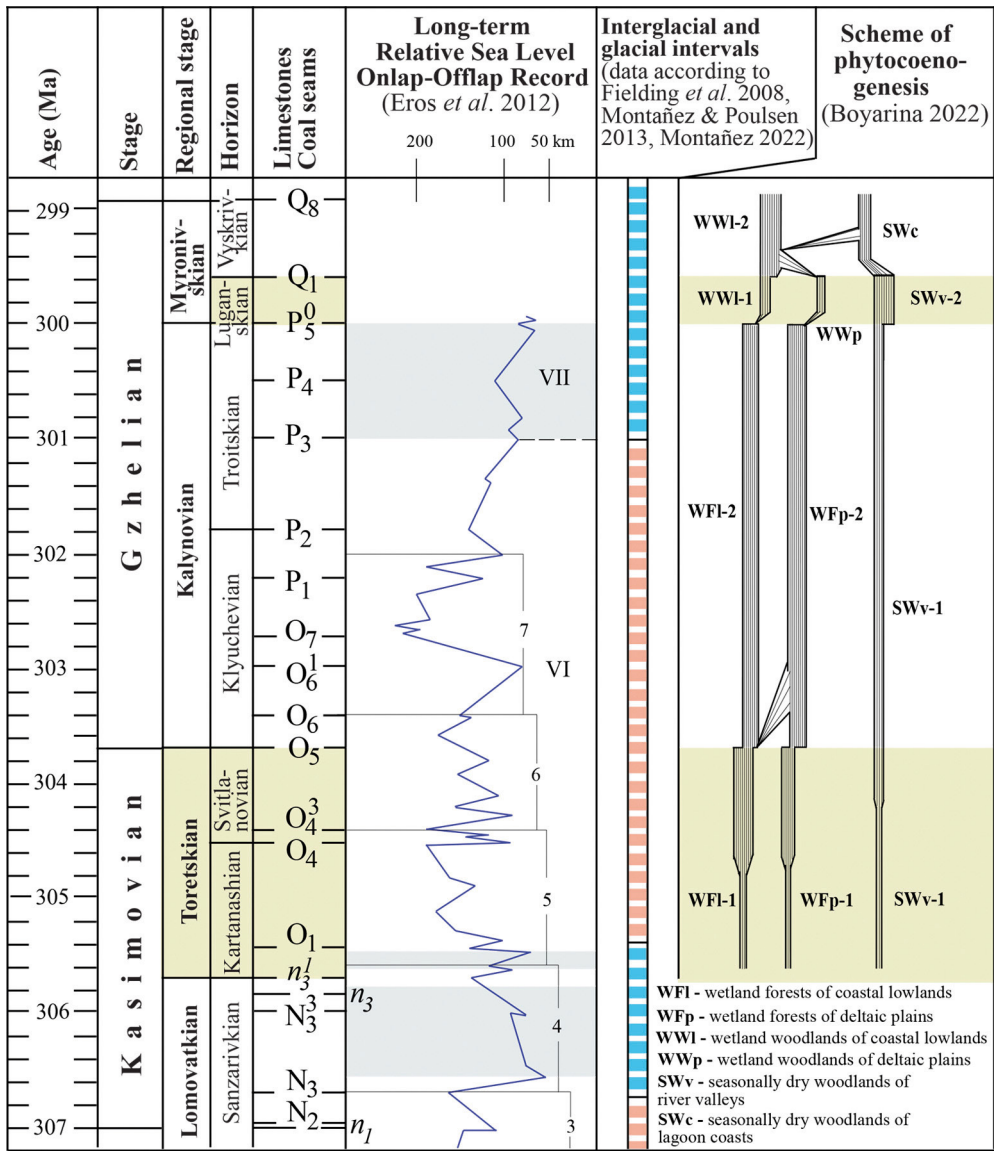
## **Vegetation dynamics and its connection with glacio-eustatic changes**

The vegetation dynamics of the Donets Basin during the Late Pennsylvanian is traced in the development of two biomes, i.e. wetland forest and woodland biome and seasonally dry woodland biome. The features of the spreading of wetland and seasonally dry vegetation were related with the landscape and climatic changes that will be considered in context of glacio-eustatic sea level fluctuations, namely the changes of a relative sea level in the Donets Basin [Eros *et al.* 2012] during the glacial and interglacial intervals of the Late Paleozoic Ice Age [Fielding *et al.* 2008; Montañez & Poulsen 2013; Montañez 2022] (Fig. 6).

The formation of the Late Pennsylvanian vegetation cover in the Donets Basin occurred after the decline and loss of the wetland mixed lycopsid-dominated forests with tree ferns and pteridosperms in the latest Moscovian and the earliest Kasimovian. This time interval is compared with the end of the late Moscovian interglacial and earliest Kasimovian glacial intervals, the latter from which is mainly justified by the relative drop in sea levels [Montañez 2022]. In the Donets Basin, this glaciation corresponds to the long-term period of a relatively stable lower sea level in the late Lomovatkian (see Fig. 6) [Eros *et al.* 2012; Montañez 2022]. It should be noted that the upper part of the Lomovatkian regional stage was included in the Moscovian Stage by faunal and floral data [Poletaev *et al.* 2011] without considering the radio-isotopically calibrated age of the Moscovian–Kasimovian boundary [Davydov *et al.* 2010]. The floral changes of the Moscovian–Kasimovian (Westphalian–Stephanian) transition were identified by the disappearance of the most Westphalian flora as well as the appearance and distribution of the few Stephanian-age pteridosperms (*Neuropteris ovata*, *Odontopteris cantabrica* Wagner, *O. reichiana* Gutbier) and ferns (*Cyathocarpus* ex gr. *arboreus* (Sternberg) Weiss, *C. cyatheus* (Brongniart) Mosbrugger, *C. hemitelioides*) in coal-bearing deposits, i.e. at the base the  $m_9$  coal seam below the  $N_1$  limestone, at the base of the  $n_1$  coal seam below the  $N_2$  limestone, and at the base of the  $n_3$  coal seam below the  $N_4$  limestones [Fisunenکو 1975, 1991, 2000]. The plant fossil assemblages occurring in lacustrine deposits in the lower part of the Toretskian regional stage (above the  $n_3^1$  coal seam) already consist mostly of the characteristic taxa of the Stephanian flora [Shchegolev 1975].

The development of the Late Pennsylvanian (Stephanian) flora and vegetation of the Donets Basin will be regarded using the syntaxonomic composition of the Kasimovian and Gzhelian vegetation cover [Boyarina 2023]. The sequential reorganisations of the plant communities of wetland and seasonally dry habitats were generalised to the scheme and models of phytocoenogenesis [Boyarina 2022] (Fig. 7).

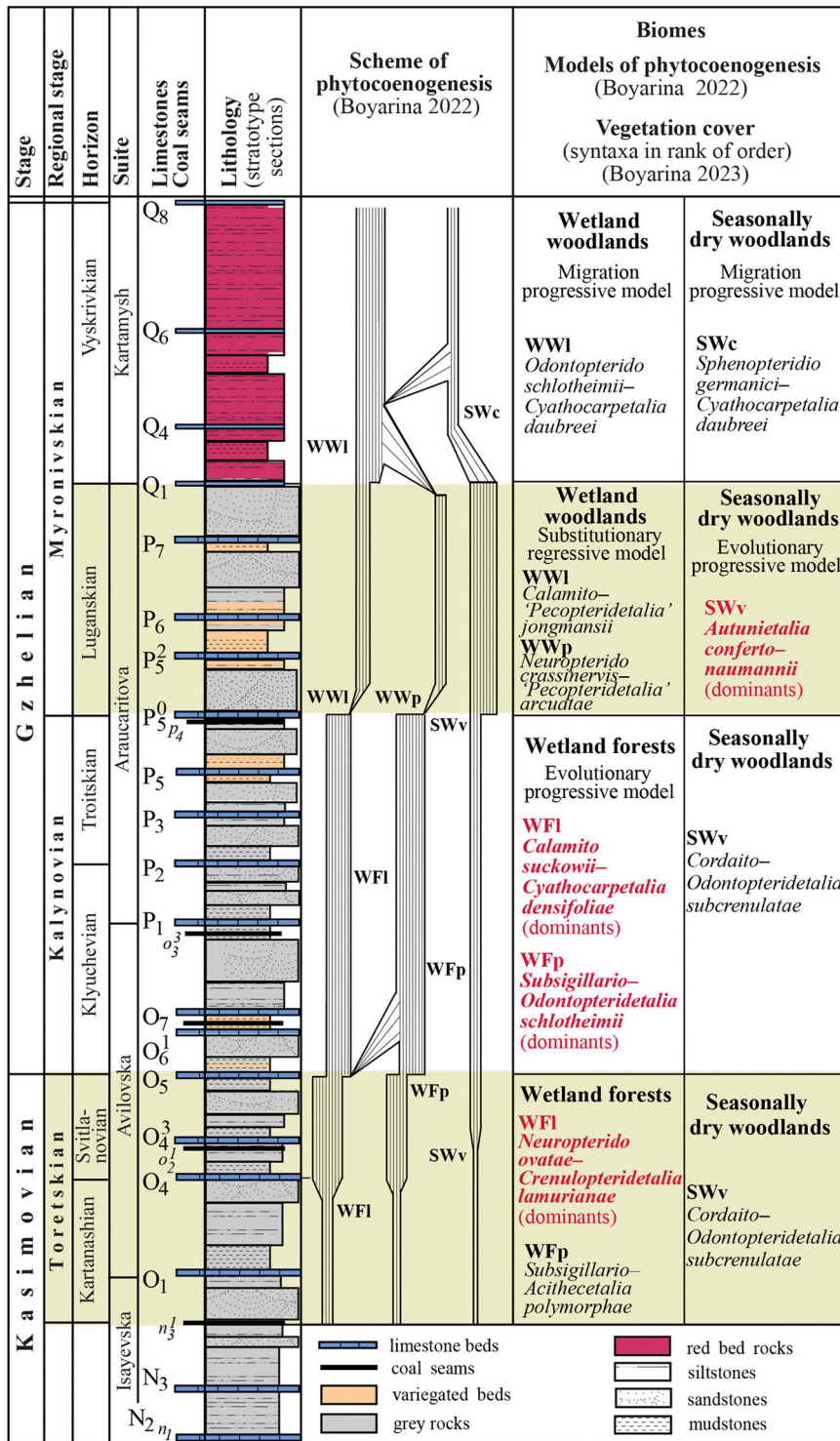
In the Kasimovian and early Gzhelian times, wetland forests were common within coastal lowlands and deltaic plains. The distinguishing features of the forests of deltaic plains from the forests of coastal lowlands were the presence of subsigillarian lycopsids and a greater diversity of pteridosperms. The wetland marattialean fern-dominated forests of the class *Marattietea* on coastal lowlands were represented the different orders, namely calamitalean-fern and fern-pteridosperm forests of the order *Neuropterido ovatae–Crenulopteridetalia lamurianaе* in the Kasimovian and calamitalean-fern



**Fig. 6.** Relationship among the processes of phytocoenogenesis of the Donets Basin vegetation and glacio-eustatic sea-level changes during the Late Pennsylvanian glacial and interglacial intervals.

**Рис. 6.** Відношення між процесами фітоценогенезу рослинності Донецького басейну та гляціо-евстатичними змінами рівня моря впродовж пізньопенсильванських гляціальних та інтергляціальних інтервалів.

forests of the order *Calamito suckowii*–*Cyathocarpetalia densifoliae* in the early Gzhelian. The early Gzhelian vegetation cover differed, firstly, the disappearance of dominants of the Kasimovian wetland forests—ferns *Crenulopteris lamuriana* and pteridosperms *Neuropteris ovata*, and secondly, the expanded species composition of ferns and the change of dominant ferns. The wetland sub-sigillarian lycopsid-marattialean fern-pteridosperm forests on deltaic plains were represented different orders and classes too. The Kasimovian lycopsid-fern-dominated forests of the class *Sigillario*–*Marattietea* with the order *Subsigillario*–*Acithecetalia polymorphae* were replaced by the early Gzhelian lycopsid-pteridosperm and calamitean-fern forests of the class *Sigillario*–*Odontopteridetia* with the order *Subsigillario*–*Odontopteridetalia schlotheimii*. The latter differed in the greater species composition of ferns and pteridosperms as well as their dominants.



**Fig. 7.** Dynamics of the Late Pennsylvanian vegetation cover of the Donets Basin presented by the scheme and models of phytocoenogenesis: wetland forests (WFI) and woodlands (WWI) of coastal lowlands, wetland forests (WFP) and woodlands (WWp) of deltaic plains, seasonally dry woodlands of river valleys (SWv) and lagoon coasts (SWc).

**Рис. 7.** Динаміка пізньопенсильванського рослинного покриття Донецького басейну, яка представлена схемою та моделями фітоценогенезу: вологі ліси (WFI) та рідколісся (WWI) прибережних низовин, вологі ліси (WFP) та рідколісся (WWp) дельтових рівнин, сезонно-сухі рідколісся річкових долин (SWv) та лагунних узбереж (SWc).

The formation and spread of the wetland forest communities occurred in the long-term periods of relatively stable higher and lower sea levels [Eros *et al.* 2012] that were associated with the late Kasimovian through early–mid-Gzhelian interglacial interval and the late Gzhelian glacial interval [Montañez 2022] (see: Fig. 6). The rich wetland vegetation of coastal lowlands was especially widespread in the late Kasimovian (Svitlanovian), as evidenced by the large number of plant assemblages in the Svitlanovian lacustrine deposits, a spreading of which was associated with the intermediate-scale cycle at number 6 of Stage VI (sea-level stage) during a relatively stable higher sea level [Eros *et al.* 2012] (see: Figs. 2, 6). This intermediate-scale cycle includes a series of onlap–offlap events (cyclotems), i.e. frequent sea level fluctuations, resulting in the spread of coastal lowlands with a humid climate. The wide distribution of the wetland flora of such environments occurred in the early phases of transgressions from middle to late lowstand within an each glacial-interglacial (onlap-offlap after Eros *et al.* 2012) cycle [DiMichele 2014].

In contrast, the phytooryctocoenoses in deltaic deposits are more common in the lower Gzhelian (Troitskian) deposits that related with the period of a relative sea level drop (interval between the P<sub>2</sub>-P<sub>3</sub> limestones) and the long-term period of relatively stable lower sea level (Stage VII) [Eros *et al.* 2012] (see: Figs. 3, 6). This leads to the following conclusions. The predomination of wetland forests of coastal lowlands in the vegetation cover took place in the late Kasimovian in the conditions of the long-term period of a relatively stable higher sea level during the first half of the late Kasimovian–early-mid-Gzhelian interglacial interval. While the wetland forests of deltaic plains became more spread in the early Gzhelian within the long-term period of a relative sea level drop in the end of the late Kasimovian–early-mid-Gzhelian interglacial interval and in the long-term period of a relatively stable lower sea level during the start of the late Gzhelian glacial interval. The latter is considered as the beginning of the late Paleozoic glaciation [Montañez 2022].

In the beginning of the middle Gzhelian (Luganskian), the wetland forests on coastal lowlands and deltaic plains were replaced by wetland woodlands that continued to grow on coastal lowlands in the late Gzhelian (Vyskrivkian). The loss of wetland forests from vegetation cover and the appearance of wetland woodlands in the middle Gzhelian (Luganskian) occurred in the condition of the reduction of coastal lowlands and deltaic plains that is indicated by decreasing nearshore-marine/coastal lacustrine and coastal lagoonal/deltaic facies while increasing fluvial deposits (see: Fig. 4).

According to the syntaxonomic composition of the middle and late Gzhelian vegetation cover, the wetland calamitalean-fern woodlands of the order *Calamito-‘Pecopteridetalia’ jongmansii* in composition of the class *Calamito-Marattietea*, which grew on coastal lowlands in the middle Gzhelian, were replaced by the calamitalean-fern-pteridosperm woodlands of the order *Odontopterido schlotheimii-Cyathocarpetalia daubreei* of the class *Odontopterido-Marattietea* in the late Gzhelian. The differences of the late Gzhelian order consisted in the increase in the taxonomical composition of palaeophytocoenoses due to plant migrations from deltaic plains [Boyarina 2022]. As a result of migration, the composition of the late Gzhelian woodlands had expanded by calamitaleans, ferns and pteridosperms. The middle Gzhelian woodlands on deltaic plains of the class *Neuropterido-Marattietea* with the order *Neuropterido crassinervis-‘Pecopteridetalia’ arcuatae* experienced the regressive development that was represented by both the disappearance of some plant species and the migration of the plants of some species to coastal lowlands, resulting in the loss of deltaic plain woodlands in the beginning of the late Gzhelian. This phytocoenotic process was caused by the reduction of deltaic and river landscapes in the late Gzhelian time, as testified by the disappearance of deltaic-fluvial and fluvial facies (see: Fig. 5).

The seasonally dry woodlands were spread in river valleys from the Kasimovian (Toretskian) until the middle Gzhelian (Luganskian) as well as on lagoon coasts in the late Gzhelian (Vyskrivkian). The cordaitan-pteridosperm woodlands of river valleys in the Kasimovian and early Gzhelian times had a similar species composition and belonged to the one class *Cordaito-Odontopteridetea* with the same order *Cordaito-Odontopteridetalia subcrenulatae*. In the middle Gzhelian, the vegetation cover in river valleys began to consist of predominant peltaspermalen pteridosperm scrubs and the less

common woodlands with tree ferns and arborescent cordaitaleans of the class *Peltaspermetea* with the order *Autunietalia conferto-naumannii*. The formation of the middle Gzhelian plant communities took place in the conditions of the wide spreading of river landscapes. In the late Gzhelian time, the seasonally dry woodlands consisted of tree ferns and pteridosperm shrubs of the class *Lyginopteridio-Marattietea* with the order *Sphenopteridio germanici-Cyathocarpetalia daubreei* that were formed within expanding lagoon coasts against the background of the reduction of river landscapes and the spreading of temporary or seasonal rivers and streams.

The replacement of wetland forests by woodlands, a dominance of seasonally dry pteridosperm scrubs and a further vegetation development occurred after the long-term period of relatively stable lower sea level (Stage VII), in a condition of a continued sea level drop with low-amplitude sea level oscillations that led to gradual isolation of the Donets epicontinental sea [Gorak & Poletaev 1993; Poletaev *et al.* 2011; Borisenko 2014]. The mentioned changes of the middle and late Gzhelian vegetation cover also correspond to the trend of increasing equatorial aridity in Euramerica during Late Pennsylvanian [Tabor & Poulsan 2008; Fielding *et al.* 2008; Pfefferkorn *et al.* 2017]. The signs of the aridization in the Donets Basin are usually considered the lack of coal beds and an increase in the number of variegated beds, beginning with the Luganskian (above the P<sub>5</sub><sup>2</sup> limestone), and predominant red deposits in the upper Gzhelian (Vyskrivkian) [Feofilova 1966; Shchegolev 1975; Poletaev *et al.* 2011]. The formation of mentioned new plant communities and the predominance of red beds in the section were associated with the glacial interval in the end of the Late Pennsylvanian, involving the apex of late Paleozoic glaciation [Fielding *et al.* 2008; Isbell *et al.* 2012; Montañez & Poulsen 2013; Montañez 2022]. This glacial interval of the late Gzhelian with the palaeo-CO<sub>2</sub> falls and the greater value of O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ratios (700 to 960) [Montañez *et al.* 2007; Richey *et al.* 2020; Montañez 2022] was accompanied a longer-term trend of drying during the later Pennsylvanian [Cecil *et al.* 1985; Montañez *et al.* 2007; Peyser *et al.* 2008]. Thus, specified climatic conditions in the late Gzhelian glacial interval had caused a declining role of wetland-dominated vegetation and an increasing role of seasonally dry-dominated vegetation in the Donets Basin in the end of the Late Pennsylvanian.

The considered transformations of vegetation cover, which are expressed by the sequential formations of new plant communities (phytocoenogenesis) and caused by changing environmental conditions related with glacial-interglacial events, can be identified as the events of the vegetation dynamics.

The following are the main events of vegetation reorganisations and their connection with the long-term periods of sea level oscillations during glacial-interglacial intervals of the Late Paleozoic Ice Age.

## **The earliest Kasimovian glacial interval**

***The long-term period of relatively stable lower sea level (with infrequent sea level fluctuations):***

- reduction and subsequent loss of the wetland lycopsid-dominated forests of coastal lowlands

## **The late Kasimovian–early-mid-Gzhelian interglacial interval**

***The early phase (Toretskian) of the long-term period of relatively stable higher sea level (with frequent sea level fluctuations):***

- formation (evolutionary progressive model of phytocoenogenesis) of wetland marattialean fern-dominated forests of the order *Neuropterido ovatae-Crenulopteridetalia lamurianae* on coastal lowlands
- formation (evolutionary progressive model of phytocoenogenesis) of wetland lycopsid-fern forests of the order *Subsigillario-Acithecetalia polymorphae* on deltaic plains

***The middle phase (Klyuchevian) of the long-term period of relatively stable higher sea level (with frequent sea level fluctuations):***

- formation (evolutionary progressive model of phytocoenogenesis) of wetland marattialean fern-dominated forests with new dominants of the order *Calamito suckowii-Cyathocarpetalia densifoliae* on coastal lowlands

- formation (evolutionary progressive model of phytocoenogenesis) of wetland lycopsid-pteridosperm and calamitalean-fern forests with new dominants of the order *Subsigillario–Odontopteridetalia schlotheimii* on deltaic plains

### **The late Gzhelian glacial interval (beginning of late Paleozoic glaciation)**

#### ***The long-term period of relatively stable lower sea level (with infrequent sea level fluctuations, late Troitskian):***

- reduction of wetland marattialean fern-dominated forests of the order *Calamito suckowii–Cyathocarpetalia densifoliae* on coastal lowlands
- the continued spreading in the start of the period of a relatively stable lower sea level and the subsequent reduction of wetland lycopsid-pteridosperm and calamitalean-fern forests of the order *Subsigillario–Odontopteridetalia schlotheimii* on deltaic plains

#### ***The long-term period of relatively stable sea level drop (Luganskian):***

- transformation of wetland forests to wetland woodlands:
  - loss of wetland marattialean fern-dominated forests of the order *Calamito suckowii–Cyathocarpetalia densifoliae* from vegetation cover on coastal lowlands and formation (substitutionary regressive model of phytocoenogenesis) of wetland calamitalean-fern woodlands of the order *Calamito–‘Pecopteridetalia’ jongmansii* on coastal lowlands
  - loss of wetland lycopsid-fern-pteridosperm forests of the order *Subsigillario–Odontopteridetalia schlotheimii* on deltaic plains and formation (substitutionary regressive model of phytocoenogenesis) of wetland woodlands of the order *Neuropterido crassinervis–‘Pecopteridetalia’ arcuatae* on deltaic plains
- formation (evolutionary progressive model of phytocoenogenesis) of seasonally dry peltaspermen pteridosperm-dominated woodlands of the order *Autunietalia conferto–naumannii* in river valleys

#### ***The long-term period of relatively stable sea level drop (Vyskrivkian):***

- loss of wetland woodlands of the order *Neuropterido crassinervis–‘Pecopteridetalia’ arcuatae* of deltaic plains from vegetation cover
- formation (migration progressive model of phytocoenogenesis) of new wetland calamitalean-fern-pteridosperm woodlands of order *Odontopterido schlotheimii–Cyathocarpetalia daubreei* on coastal lowlands
- loss of seasonally dry woodlands of the order *Autunietalia conferto–naumannii* of river valleys from vegetation cover
- formation (migration progressive model of phytocoenogenesis) of new seasonally dry pteridosperm-fern woodlands of order *Sphenopteridio germanici–Cyathocarpetalia daubreei* on lagoon coasts.

As shown above, the specified events of the Late Pennsylvanian vegetation reorganisations were timed to different glacio-eustatic periods. The formation of new plant communities of wetland forests within coastal lowlands and deltaic plains took place in the long-term period of relatively stable higher sea level with frequent sea level fluctuations during the interglacial interval. And in doing so, the frequency of sea level fluctuations was important factor of climatic and landscape dynamics, causing the formation of new wetland forest communities with new floristic composition according to evolutionary progressive model of phytocoenogenesis. Whereas the reduction and subsequent loss of wetland lycopsid-dominated forests in the earliest Kasimovian as well as wetland marattialean fern-dominated and subsigillarian lycopsid-marattialean fern-pteridosperm forests in the middle Gzhelian (latest Troitskian and Luganskian) occurred in the long-term periods of relatively stable

lower sea level with infrequent sea level fluctuations during the two glacial intervals. During the late Gzhelian glacial interval, the sustained reductions of certain landscape types led to the loss of forest communities and then woodland communities and the formation of new woodland communities according to substitutionary regressive and migration progressive models of phytocoenogenesis. While the new communities of seasonally dry woodlands, including peltaspermalen pteridosperm shrubs, were formed according to evolutionary progressive model of phytocoenogenesis in the condition of the sustained expansion of alluvial plains during the Luganskian sea level drop. The further sea level drop and increasing drying during the glacial interval in the Vyskrivkian had resulted in the reduction and loss of seasonally dry vegetation of river valleys.

## Conclusions

The dynamics of the Late Pennsylvanian vegetation of the Donets Basin is reflected in the transformations of the vegetation cover, including the sequential formations of the new plant communities of two biomes, i.e. wetland forests and woodlands as well as seasonally dry woodlands. The reorganisations of plant communities were a result of changing environmental conditions related with the Late Pennsylvanian glacio-eustatic sea level changes during the Late Paleozoic Ice Age and the Late Pennsylvanian trend of increasing aridity in Euramerican Pangea.

The wetland forests were presented by the calamitalean-fern and fern-pteridosperm communities of coastal lowlands and the lycopsid-fern communities of deltaic plains in the Kasimovian, as well as the calamitalean-fern communities of coastal lowlands and the lycopsid-pteridosperm and calamitalean-fern communities within deltaic plains in the early Gzhelian. The new communities of coastal lowlands and deltaic plains were formed according to the evolutionary progressive model of phytocoenogenesis in the condition of the expansion of coastal lowlands and deltaic plains in the long-term period of a relatively stable higher sea level with frequent sea level fluctuations during the late Kasimovian–early-mid-Gzhelian interglacial interval. Wetland forests were replaced by wetland woodlands in the middle Gzhelian (Luganskian). The transformation of wetland forests to wetland woodlands according to the substitutionary regressive model of phytocoenogenesis was due to the reduction of coastal lowland and deltaic environments that was associated with the long-term period of a relatively stable sea level drop in the early phase of the late Gzhelian glacial interval. The wetland woodlands included the calamitalean-fern communities on coastal lowlands and the calamitalean-fern communities with pteridosperm shrubs on deltaic plains in the middle Gzhelian (Luganskian) and the fern-calamitalean-pteridosperm communities on coastal lowlands in late Gzhelian (Vyskrivkian).

The seasonally dry woodlands were presented by the cordaitalean-pteridosperm communities in river valleys in the Kasimovian and early Gzhelian, the peltaspermalen pteridosperm scrubs with fern-pteridosperm and cordaitalean-pteridosperm communities in river valleys in the middle Gzhelian, the calamitalean-fern and fern-pteridosperm communities on lagoon coasts in the late Gzhelian, as well as the coniferous woodlands on river valley slopes in the Kasimovian, early and middle Gzhelian, and the coniferous woodlands on coastal levees in the late Gzhelian. The formation of the new peltaspermalen pteridosperm-dominated communities in river valleys according to the evolutionary progressive model of phytocoenogenesis took place in the conditions of the expansion of river environments during the Luganskian sea level drop in the early phase of the late Gzhelian glacial interval. The late Gzhelian wetland and seasonally dry woodlands were formed according to the migration progressive model of phytocoenogenesis during the continued sea level drop in the late Gzhelian glacial interval.

## Acknowledgments

The author is grateful to Christopher J. Cleal and an anonymous reviewer for their constructive reviews and valuable comments on the manuscript.

## Declarations

Funding. This study was supported by the Ministry of Education and Science of Ukraine (project no. 0122U001609) and the National Academy of Sciences of Ukraine (budget program with budget classification code no. 6541030).

Conflict of interests. The author has no conflicts of interest to declare that are relevant to the content of this article.

## References

- Bashforth, A. R., C. J. Cleal, M. R. Gibling, H. R. Falcon-Lang, R. F. Miller. 2014. Paleocology of Early Pennsylvanian vegetation on a seasonally dry tropical landscape (Tynemouth Creek Formation, New Brunswick, Canada). *Review of Palaeobotany and Palynology*, **200**: 229–263.
- Bashforth, A. R., W. A. DiMichele, C. F. Eble, W. J. Nelson. 2016. Dryland vegetation from the Middle Pennsylvanian of Indiana (Illinois Basin): the dryland biome in glacioeustatic, paleobiogeographic, and paleoecologic context. *Journal of Paleontology*, **90** (5): 785–814. <https://doi.org/10.1017/jpa.2016.25>
- Bashforth, A. R., W. A. DiMichele, C. F. Eble, H. J. Falcon-Lang, C. V. Looy, S. G. Lucas. 2021. The environmental implications of upper Paleozoic plant-fossil assemblages with mixtures of wetland and drought-tolerant taxa in tropical Pangea. *Geobios*, **68**: 1–45. <https://doi.org/10.1016/j.geobios.2021.04.002>
- Borisenko, Yu. A. 1975. Features of the late Carboniferous lithogenesis in the south-western part of the Donbass. *Geologiya i geohimiya iskopaemih uglei*, **44**: 10–16. [In Russian]
- Borisenko, Yu. A. 2014. *Facies of continental and subcontinental sediments of the upper Carboniferous of the western part of the Donets Coal Basin*. Xarkov, 1–163. [In Russian]. <https://www.gigabaza.ru/doc/174649-pall.html>
- Boyarina, N. I. 2010. Late Gzhelian pteridosperms with callipterid foliage of the Donets Basin, Ukraine. *Acta Palaeontologica Polonica*, **55** (2): 343–359. <https://doi.org/10.4202/app.2009.0020>
- Boyarina, N. I. 2016. The late Carboniferous palaeophytocoenoses of the Donets Basin (according to the classification of vegetation by the Braun-Blanquet method). *Problems of the Phanerozoic geology of Ukraine: Collection of scientific works of the VII All-Ukrainian Scientific Conference*. Lviv, 36–39. [In Ukrainian]
- Boyarina, N. I. 2017. Palaeophytocoenological studies of the late Carboniferous vegetation of the Donets Basin. *Collection of scientific works of the Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine*, **10**: 4–14. [In Russian] <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2017.141682>
- Boyarina, N. I. 2022. Late Pennsylvanian vegetation cover changes in the Donets Basin: syndynamic aspect. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, **56**: 8–23. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-01>
- Boyarina, N. I. 2023. The Late Pennsylvanian vegetation of the Donets Basin, Ukraine: Syntaxonomy of plant communities. *GEO&BIO*, **24**: 64–98. <https://doi.org/10.15407/gb2406>
- Braun-Blanquet, J. 1964. *Pflanzensociologie. Grundzüge der Vegetationskunde*. 3rd. ed. Springer-Verlag, Aufl. Wien, 1–865.
- Broutin, J., J. Doubinger, G. Farjanel, P. Freydet, H. Kerp, [et al.]. 1990. Le renouvellement des flores au passage Carbonifère–Permian: approche stratigraphique, biologique, sédimentologique. *Comptes Rendus de l'Académie des sciences*, **2** (311): 1563–1569.
- Cecil, C. B. 2013. An overview and interpretation of autocyclic and allocyclic processes and the accumulation of strata during the Pennsylvanian–Permian transition in the central Appalachian Basin, USA. *International Journal of Coal Geology*, **119**: 21–31.
- Cecil, C. B., W. A. DiMichele, S. D. Elrick. 2014. Middle and Late Pennsylvanian cyclothems, American Midcontinent: Ice-age environmental changes and terrestrial biotic dynamics. *Comptes Rendus. Géoscience*, **346** (7–8): 159–168.
- Cecil, C. B., F. T. Dulong, R. R. West, R. Stamm, B. A. Wardlaw, N. T. Edgar. 2003. Climate controls on the stratigraphy of a Middle Pennsylvanian cyclothem in North America. In: Cecil, C. B., Edgar, N. T. (eds.). *Climate controls on stratigraphy. Special Publications*, **77**: 151–182.
- Cecil, C. B., R. W. Stanton, S. G. Neuzil, F. T. Dulong, L. F. Ruppert, B. S. Pierce. 1985. Paleoclimate controls on late Paleozoic sedimentation and peat formation in the central Appalachian Basin (U.S.A.). *International Journal of Coal Geology*, **5**: 195–230.
- Cleal, C. J. 2007. The Westphalian-Stephanian macrofloral record from the South Wales Coalfield, UK. *Geological Magazine* **144**, 465–486.
- Cleal, C. J., B. A. Thomas. 2005. Palaeozoic tropical rainforests and their effect on global climates: is the past the key to the present? *Geobiology*, **3**: 13–31.
- Cleal, C. J., S. Opluštil, B. A. Thomas, Y. Tenchov. 2011. Pennsylvanian vegetation and climate in tropical Variscan Euramerica. *Episodes*, **34**: 3–12.
- Cleal, C. J., D. Uhl, B. Cascales-Miñana, B. A. Thomas, A. R. Bashforth, [et al.]. 2012. Plant biodiversity changes in Carboniferous tropical wetlands. *Earth-Science Reviews*, **114**: 124–155. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.05.004>
- Cridland, A. A., J. E. Morris. 1963. *Taeniopteris*, *Walchia*, and *Dichophyllum* in the Pennsylvanian system of Kansas. *University of Kansas Science Bulletin*, **44**: 71–82.

- Davydov, V.I., J. L. Crowley, M. D. Schmitz, V. I. Poletaev. 2010. High-precision U–Pb zircon age calibration of the global Carboniferous time scale and Milankovitch band cyclicity in the Donets Basin, eastern Ukraine. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, **11** (1): 1–22.
- DiMichele, W. A. 2014. Wetland-dryland vegetational dynamics in the Pennsylvanian ice age tropics. *International Journal of Plant Sciences*, **175**: 123–164. <https://doi.org/10.1086/675235>
- DiMichele, W. A., R. B. Aronson. 1992. The Pennsylvanian–Permian vegetational transition: a terrestrial analogue to the onshore–offshore hypothesis. *Evolution*, **46**: 807–824.
- DiMichele, W. A., T. L. Phillips. 1996. Climate change, plant extinctions, and vegetational recovery during the Middle–Late Pennsylvanian transition: the case of tropical peat-forming environments in North America. In: Hart, M. L. (ed.). *Biotic Recovery from Mass Extinctions*. Geological Society, London, Special Publication, **102**: 201–221.
- DiMichele, W. A., H. W. Pfefferkorn, R. A. Gastaldo. 2001. Response of Late Carboniferous and Early Permian plant communities to climate change. *Annual Review of Earth and Planetary Science*, **29**: 461–487.
- DiMichele, W. A., R. A. Gastaldo, H. W. Pfefferkorn. 2005. Plant biodiversity partitioning in the Late Carboniferous and Early Permian and its implications for ecosystem assembly. *Proceedings of the California Academy of Sciences*, **56** (1), No 4: 32–49.
- DiMichele, W. A., N. J. Tabor, D. S. Chaney, W. J. Nelson. 2006. From wetlands to wet spots: environmental tracking and the fate of Carboniferous elements in Early Permian tropical floras. In: Greb, S. F., DiMichele, W. A. (eds.). *Wetlands through Time*. Geological Society of America Special Paper, **399**: 223–248.
- DiMichele, W. A., H. Kerp, N. J. Tabor, C. V. Looy. 2008. Revisiting the so-called “Paleophytic–Mesophytic” transition in equatorial Pangea: vegetational integrity and climatic tracking. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **268**: 152–163.
- DiMichele, W. A., I. P. Montañez, C. J. Poulsen, N. J. Tabor. 2009. Climate and vegetational regime shifts in the late Paleozoic ice age earth. *Geobiology*, **7**: 200–226. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4669.2009.00192>
- DiMichele, W. A., B. Cecil, I. P. Montañez, H. J. Falcon-Lang. 2010. Cyclic changes in Pennsylvanian paleoclimate and its effects on floristic dynamics in tropical Pangea. *International Journal Coal Geology*, **83**: 329–344. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2010.01.007>
- DiMichele, W. A., A. R. Bashforth, H. J. Falcon-Lang, S. G. Lucas. 2020. Uplands, lowlands, and climate: Taphonomic megabiases and the apparent rise of a xeromorphic, drought-tolerant flora during the Pennsylvanian–Permian transition. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **559**. Article 109965. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2020.109965>
- DiMichele, W. A., C. F. Eble, H. W. Pfefferkorn, S. D. Elrick, W. J. Nelson, [et al.]. 2023. Kasimovian floristic change in tropical wetlands and the Middle–Late Pennsylvanian Boundary Event. *Geological Society, London, Special Publications*, **535** (1): 293–335. <https://doi.org/10.1144/SP535-2022-228>
- DiMichele, W. A., S. G. Lucas, C. F. Eble, H. Kerp, S. J. Reynolds, [et al.]. 2024. A detailed stratigraphic and taphonomic reassessment of the late Paleozoic fossil flora from Promontory Butte, Arizona. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **320**: 105004. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2023.105004>
- Dimitrova, T. K., C. J. Cleal, B. A. Thomas. 2011. Palynological evidence for Pennsylvanian extra-basinal vegetation in Atlantic Canada. *Journal of the Geological Society*, **168**: 559–569.
- Elrick, S. D., W. J. Nelson, P. R. Ames, W. A. DiMichele. 2017. Floras characteristic of Late Pennsylvanian peat swamps arose in the late Middle Pennsylvanian. *Stratigraphy*, **14**: 123–141. <https://doi.org/10.29041/strat.14.1-4.123-141>
- Eros, J. M., I. P. Montañez, D. A. Osleger, V. I. Davydov, T. I. Nemyrovska, [et al.]. 2012. Sequence stratigraphy and onlap history of the Donets Basin, Ukraine: Insight into Carboniferous icehouse dynamics. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **313–314**: 1–25. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2011.08.019>
- Gastaldo, R. A. 1996. Flöznah and flözfern assemblages: potential predictors of Late Carboniferous biome replacement? In: Leary, R. L. (ed.). *Patterns in Paleobotany: Proceedings of a Czech–U.S. Carboniferous Paleobotany Workshop*. Illinois State Museum Scientific Papers, **26**: 19–27.
- Gastaldo, R. A., H. W. Pfefferkorn, W. A. DiMichele. 1995. Taphonomic and sedimentologic characterization of roof-shale floras. *Memoir of the Geological Society of America*, **185**: 341–52.
- Gorak, S.V., V.I. Poletaev. 1993. Hercynian cycle of tectonic history of Ukraine (Middle Devonian–Permian). In: Tselhnyuk, P.D. (ed.). *Geological history of the territory of Ukraine. Paleozoic*. Naukova Dumka, Kyiv, 69–75. [in Russian]
- Havlena, V. 1971. Die zeitgleichen Floren des europäischen Oberkarbons und die mesophile Floras des Ostrau-Karwiner Steinkohlenreviers. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **12**: 245–270.
- Heckel, P. H. 2008. Pennsylvanian cyclothem in Midcontinent North America as farfield effects of waxing and waning of Gondwana ice sheets. In: Fielding, C. R., Frank, T. D., Isbell, J. L. (eds.). *Resolving the late Paleozoic Ice Age in Time and Space*. Geological Society of America Special Paper, **441**: 275–289.
- Horton, D. E., C. J. Poulsen, D. Pollard. 2010. Influence of high-latitude vegetation feedback on late Paleozoic glacial cycles. *Nature Geoscience*, **3**: 572–577.
- Isbell, J. L., L. C. Henry, E. L. Gulbranson, C. O. Limarino, M. L. Fraiser, [et al.]. 2012. Glacial paradoxes during the late Paleozoic ice age; evaluating the equilibrium line altitude as a control on glaciation. *Gondwana Research*, **22**: 1–19.

- Falcon-Lang, H. J. 2003. Response of Late Carboniferous tropical vegetation to transgressive–regressive rhythms at Joggins, Nova Scotia. *Journal of the Geological Society*, **160**: 643–648.
- Falcon-Lang, H. J. 2004. Pennsylvanian tropical rain forests responded to glacialinterglacial rhythms. *Geology*, **32**: 689–692.
- Falcon-Lang, H. J., W. J. Nelson, S. Elrick, C. V. Looy, P. R. Ames, [et al.]. 2009. Incised channel fills containing conifers indicate that seasonally dry vegetation dominated Pennsylvanian tropical lowlands. *Geology*, **37**: 923–926.
- Falcon-Lang, H. J., W. J. Nelson, P. H. Heckel, W. A. DiMichele, S. D. Elrick. 2018. New insights on the stepwise collapse of the Carboniferous Coal Forests: evidence from cyclothems and coniferopsid tree-stumps near the Desmoinesian–Missourian boundary in Peoria County, Illinois, USA. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **490**: 375–392. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2017.11.015>
- Feofilova, A. P. 1966. *Transition of coalbearing deposits to saltbearing in western part of the Donets Basin*. Nauka, Moscow, 1–176. [In Russian]
- Fielding, C. R., T. D. Frank, J. L. Isbell. 2008. The late Paleozoic ice age — A review of current understanding and synthesis of global climate patterns. In: Fielding, C. R., Frank, T. D., Isbell, J. L. (eds). *Resolving the Late Paleozoic Ice Age in Time and Space. Geological Society of America Special Paper*, **441**: 343–354.
- Fisunen, O. P. 1975. The Donets Basin as a floristic standard of the Carboniferous in the south of the European part of the USSR. In: Timofeev, P. P. (ch. ed.). *Stratigraphy of the Carboniferous and geology of coal-bearing formations of the USSR: Proceedings of the VII International Congress on Stratigraphy and Geological of the Carboniferous*. Nedra, Moscow, 90–101. [In Russian]
- Fisunen, O. P. 1991. Zonal phytostatigraphical scale of the Lower and Middle Carboniferous of the Donets Basin. *Geologichnyj zhurnal*, **3** (258): 55–64. [In Russian]
- Fisunen, O. P. 2000. On the problem of the Moscovian Stage. Izdatelstvo LGPU, Lygansk, 1–66. [In Russian]
- Looy, C. V., H. Kerp, I. A. P. Duijnste, W. A. DiMichele. 2014. The Late Paleozoic ecological-evolutionary laboratory, a land-plant fossil record perspective. *Sedimentary Record*, **12**: 4–10. <https://doi.org/10.2110/sedred.2014.4.4>
- Looy, C. V., R. A. Stevenson, T. B. Van Hoof, L. Mander. 2014. Evidence for coal forest refugia in the seasonally dry Pennsylvanian tropical lowlands of the Illinois Basin, USA. *PeerJ*, **2**: e630. <https://doi.org/10.7717/peerj.630>
- Lyons, P. C., W. C. Darrah. 1989. Earliest conifers in North America: upland and/or paleoecological indicators? *Palaios*, **4**: 480–486.
- Mirkin, B. M., L. G. Naumova. 2012. *Current state of basic concepts in plant science*. Gilem, Ufa, 1–488. [In Russian]
- Montañez, I. P. 2022. Current synthesis of the penultimate icehouse and its imprint on the Upper Devonian through Permian stratigraphic record. In: Lucas, S. G., Schneider, J. W., Wang, X., Nikolaeva, S. (eds.). *The Carboniferous Timescale. Geological Society, London, Special Publications*, **512**: 213–245.
- Montañez, I. P., C. J. Poulsen. 2013. The late Paleozoic ice age: an evolving paradigm. *Annual Review of Earth and Planetary Science*: 629–656. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.031208.100118>
- Montañez, I. P., N. J. Tabor, D. Niemeier, W. A. DiMichele, T. D. Frank, [et al.]. 2007. CO<sub>2</sub>-forced climate instability and linkages to tropical vegetation during Late Paleozoic deglaciation. *Science*, **315**: 87–91. <https://doi.org/10.1126/science.1134207>
- Opluštil, S., C. J. Cleal. 2007. A comparative analysis of some Late Carboniferous basins of Variscan Europe. *Geological Magazine*, **144**: 417–448. <https://doi.org/10.1017/S0016756807003330>
- Opluštil, S., Z. Šimůnek, J. Zajíc, V. Mencl. 2013. Climatic and biotic changes around the Carboniferous/Permian boundary recorded in the continental basins of the Czech Republic. *International Journal of Coal Geology*, **119**: 114–151.
- Peysers, C. E., C. J. Poulsen. 2008. Controls on Permo–Carboniferous precipitation over tropical Pangaea: a GCM sensitivity study. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **268**: 181–192.
- Pfefferkorn, H. W. 1980. A note on the term “upland flora”. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **30**: 157–158.
- Pfefferkorn, H. W., M. Thomson. 1982. Changes in dominance patterns in Upper Carboniferous plant-fossil assemblages. *Geology*, **10**: 641–44.
- Pfefferkorn, H. W., R. A. Gastaldo, W. A. DiMichele. 2017. Impact of an icehouse climate interval on tropical vegetation and plant evolution. *Stratigraphy*, **14** (1–4): 365–376.
- Phillips, T. L., R. A. Peppers. 1984. Changing patterns of Pennsylvanian coal-swamp vegetation and implications of climatic control on coal occurrence. *International Journal of Coal Geology*, **3**: 205–255. [https://doi.org/10.1016/0166-5162\(84\)90019-3](https://doi.org/10.1016/0166-5162(84)90019-3)
- Poletaev, V. I., M. V. Vdovenko, O. K. Shchogolev, N. I. Boyarina, I. A. Makarov. 2011. *Stratotypes of the Carboniferous and Lower Permian regional stratigraphic subdivisions of the Don-Dnieper Depression*. Logos, Kyiv, 1–236. [In Ukrainian]
- Richey, J. D., I. P. Montañez, Y. Goddérís, C. V. Looy, N. P. Griffis, W. A. DiMichele. 2020. Influence of temporally varying weatherability on CO<sub>2</sub>-climate coupling and ecosystem change in the late Paleozoic. *Climate of the Past*, **16** (5): 1759–1775.
- Richey, J. D., I. P. Montañez, J. D. White, W. A. DiMichele, W. Matthaeus, [et al.]. 2021. Modeled physiological mechanisms for observed changes in the late Paleozoic plant fossil record. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **562**: 110056. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2020.110056>

- Scott, A. C. 1977. A review of the ecology of Upper Carboniferous plant assemblages with new data from Strathclyde. *Palaeontology*, **20**: 447–73.
- Shchegolev, A. K. 1964. Differentiation of vegetation in the late Carboniferous of the Westphalian Province. *Questions of regularities and forms of development of the organic world: Proceedings of the VII session of the VPO*. Nedra, Moscow, 158–170. [in Russian]
- Shchegolev, A. K. 1965. Flora at the Carboniferous-Permian boundary in the Donetsk Basin. *In: Geology of coal-bearing formations and stratigraphy of the Carboniferous of the USSR*. Nauka, Moscow, 234–243. [In Russian]
- Shchegolev, A. K. 1975. Evolution of the flora and vegetation of the territory of the south of the European part of the USSR from the end of the Middle Carboniferous to the beginning of the Permian. The volume and division of the upper, Stephanian, division of the Carboniferous system. *In: Timofeev, P. P. (ch. ed.). Stratigraphy of the Carboniferous and geology of coal-bearing formations of the USSR: Proceedings of the VII International Congress on Stratigraphy and Geological of the Carboniferous*. Nedra, Moscow, 101–108. [In Russian]
- Shchegolev, A. K. 1991. *Lycopsidea and Sphenopsida of the late Carboniferous*. Naukova dumka, Kiev, 1–128. [in Russian]
- Stratigraphy of the Upper Proterozoic and Phanerozoic of Ukraine in two volumes. Vol. 1: *Stratigraphy of the Upper Proterozoic, Paleozoic and Mesozoic of Ukraine*. 2013. Gozhyk, P. F. (Chief ed.). Logos, Kiev, 1–637. [In Ukrainian]
- Sukachev, V. N. 1928. *Plant communities (Introduction to phytosociology)*. Kniga, Moscow-Leningrad, 1–232. [In Russian]
- Sukachev, V. N. 1954. Some general theoretical questions of phytocoenology. *Botany issues*, **1**: 291–309. [In Russian]
- Tabor, N. J., C. J. Poulsen. 2008. Palaeoclimate across the Late Pennsylvanian–Early Permian tropical palaeolatitudes: a review of climate indicators, their distribution, and relation to palaeophysiographic climate factors. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **268**, 293–310.
- Thomas, B. A., C. J. Cleal. 2017. Distinguishing Pennsylvanian-age lowland, extrabasinal and upland vegetation. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, **97**: 273–293.
- Van der Maarel, E. 1988. Vegetation dynamics: patterns in Time and Space. *Vegetatio*, **77**: 7–19.
- Wagner, R. H., 1997. Floral palaeoecology of the Carboniferous/Permian. *In: Aguirre, E., Morales, J., Soria, D. (eds.). Registros Fósiles e Historia de la Tierra*. Cursos de Verano de El Escorial, Editorial Complutense, Madrid, 143–172.
- Willard, D. A., T. L. Phillips, A. D. Lesnikowska, W. A. DiMichele. 2007. Paleoecology of the Late Pennsylvanian-age Calhoun coal bed and implications for long-term dynamics of wetland ecosystems. *International Journal of Coal Geology*, **69**: 21–54.
- Zhemchuzhnikov, Y. A., V. S. Yablokov, L. I. Bogolioubova, L. I. Botvinkina, A. P. Feofilova, [et al.]. 1960. Structure and environment of the main coal-bearing suites and coal seams of the middle Carboniferous of the Donets Basin. *II. Trudy Geological Institute Akademii Nauk SSSR*, **15**: 1–347. [In Russian]

# A stem of an arborescent lycopsid *Sigillaria* with attached rooting organs *Stigmaria* from the Pennsylvanian of the Donets Basin, eastern Ukraine

Vitaly Dernov<sup>1,2</sup>, Halyna Anfimova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Geological Sciences, NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine);

<sup>2</sup>National Museum of Natural History, NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

## article info

### key words

Carboniferous, *in situ* preservation, *Sigillaria*, *Stigmaria*, Donets Basin, Ukraine.

### correspondence to

Vitaly Dernov; Institute of Geological Sciences, NAS of Ukraine; 55-b Oles Honchar Street, Kyiv, 01054 Ukraine; Email: [vitalydernov@gmail.com](mailto:vitalydernov@gmail.com); orcid: 0000-0002-5873-394X

### article history

Submitted: 05.07.2024. Revised: 19.10.2024. Accepted: 30.12.2024.

### cite as

Dernov, V., H. Anfimova. 2024. A stem of an arborescent lycopsid *Sigillaria* with attached rooting organs *Stigmaria* from the Pennsylvanian of the Donets Basin, eastern Ukraine. *GEO&BIO*, 26: 79–94. [English, with Ukrainian summary]

## abstract

The macroscopic remains of Carboniferous plants in the Donets Basin are represented by a variety of preservation types, including compressions, impressions, casts, as well as permineralised wood of gymnosperms preserved in alluvial and marine sandstones, permineralised organs of peat-forming plants in ‘coal balls’, etc. In contrast to other Carboniferous basins of the palaeotropical belt of Euramerica, the remains of arborescent lycopsid trunks preserved *in situ* are very rare in the Donets Basin. To date, only two such finds have been documented here, namely: a fragment of the *Subsigillaria* trunk found in the coal-bearing deposits of the Avilovka Formation (Upper Pennsylvanian) and a fragment of the *Sigillaria* trunk with attached rooting organs *Stigmaria* from the Gorlivka Formation (Middle Pennsylvanian). The latter trunk is currently on display at the National Museum of Natural History, National Academy of Sciences of Ukraine. *Stigmaria* represents root organs of several families of tree-like lycopsids, i.e. they are a classic form-genus. The remains of *Stigmaria* are among the most common Carboniferous fossils in the Donets Basin. Tree-like lycopsids, including representatives of the genera *Lepidodendron*, *Sigillaria*, *Lepidophloios*, and *Asolanus*, were among the dominants of wet forests growing within deltaic and alluvial lowlands, where peats were common. The taphonomic features of this trunk fragment indicate that *Syringodendron*, the preservation type of *Sigillaria* axes, may occur not only due to postmortem water transport of axes, but also due to the destructive effects of aggressive environmental agents on the surface layers of the stem, such as wind, moisture, activity of organisms, etc. The relatively large vertical angles of branching of *Stigmaria* rhizomorphs from the base of the trunk indicate their deep penetration into a substrate. This fact contradicts the assumptions of some experts about the subaerial or aerial location of at least some of the *Stigmaria* rhizomorphs. The fragment of *Sigillaria* stem with attached rhizomorphs *Stigmaria* is a valuable find, since the trunks of Pennsylvanian tree-like lycopsids are usually preserved without rooting organs.

© 2024 The Author(s); Published by the National Museum of Natural History, NAS of Ukraine on behalf of GEO&BIO. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY-SA 4.0), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

# Стовбур деревоподібної лікопсиди *Sigillaria* з прикріпленими кореневими органами *Stigmaria* з пенсильванських відкладів Донецького басейну (Схід України)

Віталій Дернов, Галина Анфімова

**Резюме.** Макроскопічні рештки кам'яновугільних рослин Донецького басейну представлені різними типами збереження: відбитками, зліпками, а також мінералізованою деревиною голонасінних, що збереглася в алювіальних та морських пісковицях, мінералізованими органами рослин-торфотворювачів у так званих «кол-болах» тощо. На відміну від інших кам'яновугільних басейнів палеотропічного поясу Євразії, рештки стовбурів деревоподібних лікопсид, поховані інситу, трапляються на Донбасі дуже рідко. На даний момент, задокументовано всього дві такі знахідки: фрагмент стовбура *Subsigillaria*, знайдений серед відкладів авіловської світи (верхній пенсильваній) та фрагмент стовбура *Sigillaria* з прикріпленими кореневими органами *Stigmaria*, що походить з горлівської світи (середній пенсильваній). Друга знахідка експонується в Національному науково-природничому музеї НАН України. Вивченню цього екземпляру присвячена ця стаття. *Stigmaria* є кореневими органами кількох родин деревоподібних лікопсид, тобто є класичним форм-родом. Рештки стігмарій є одними з найпоширеніших фосилій серед кам'яновугільних відкладів Донецького басейну. Деревоподібні лікопсиди, такі як представники родів *Lepidodendron*, *Sigillaria*, *Lepidophloia* та *Asolanus*, були одними з домінантів вологих лісів, що росли в межах понижених ділянок приморських низин, де були поширені торфовища. Тафономічні особливості вивченого фрагмента стовбура свідчать про те, що тип збереження осей сигілярій *Syringodendron* може виникати не лише завдяки посмертному водному переносу осей, а і завдяки руйнівному впливу на поверхневі шари стовбура агресивних агентів навколишнього середовища, таких як вітер, вологість, життєдіяльності організмів тощо. Порівняно великі вертикальні кути відгалуження ризоморфів *Stigmaria* від основи стовбура сигілярії свідчить про їхнє глибоке проникнення в субстрат. Цей факт суперечить припущенням деяких фахівців щодо субаерального чи аерального прижиттєвого розташування ризоморфів *Stigmaria*. Фрагмент стовбура *Sigillaria* з прикріпленими ризоморфами *Stigmaria* є цінною знахідкою, оскільки стовбури пенсильванських деревовидних лікопсид зазвичай зберігаються без кореневих органів.

Ключові слова: карбон, інситу збереження, *Sigillaria*, *Stigmaria*, Донецький басейн, Україна.

Адреса для зв'язку: В. С. Дернов; Інститут геологічних наук НАН України; вул. Олеся Гончара, 55-6, Київ, 01054, Україна; e-mail: vitalydernov@gmail.com; orcid.org/0000-0002-5873-394X

## Introduction

Macroscopic remains of Carboniferous plants in the Donets Basin (eastern Ukraine) are represented by various preservation types, including compressions, impressions, and casts (see Zerov *et al.* [1972] for the bibliography for 1872–1971 and for the last 50 years in Boyarina [2006a, 2006b, 2010]; Dernov and Udovychenko [2019, 2021]), as well as siliceous and calcareous permineralisations preserved in sandstones [Krendovsky 1880; Zalessky 1910a; 1937; Lepekhina 1984; Rößler *et al.* 2023] and in 'coal balls' [Zalessky 1910b; Snigirevskaya 1972 and references therein]. Unfortunately, there is a paucity of data on stems of Carboniferous arborescent lycopsids preserved *in situ* from the Donets Basin [Novik 1939, 1952; Shchogolev 1978, 1991].

Rodygin [1924] reported the presence of rock casts of *Sigillaria* stumps in the roof shale of the  $k_5$  coal bed (Kamensk Formation, lower part of the Moscovian, Middle Pennsylvanian) in the Kraselshchik's mine in the town of Anratsyt (Luhansk Oblast). Local miners called them 'domes' (Ukrainian: 'kupoly') [Rodygin 1924]. These 'domes' are likely analogous to the so-called kettlebottoms, i.e. '...a sediment-filled cast of a tree stump that is exposed underground at or near the contact of the coal bed and overlying roof rock...' [DiMichele *et al.* 1996: 251].

Meffert and Krym [1926] noted that remains of lycopsid trunks preserved *in situ* are much less common in the Donets Basin compared to the coal basins of England, Belgium, and France. These authors propose that the absence of lycopsid trunk is due to the inability of the trunks to withstand the unstable wet substrate. Once the plants died, the trunks were unable to retain their structural

integrity in the aerobic environment, leading to their eventual collapse. This, in conjunction with the possibility of minor erosion, is likely to account for the frequent occurrence of rootlets of *Stigmaria* in the absence of their rhizomorphs in some Pennsylvanian palaeosoils in the Donets Basin.

Shchogolev [1978, 1991] described the stem base of *Subsigillaria* ex gr. *brardii* (Brongniart, 1822) Brongniart, 1828 from the Gzhelian (Upper Pennsylvanian) part of the Avilovka Formation of the eastern Donets Basin. According to Shchogolev [1978], the rock cast of the stem is 60 cm high, 32 cm in diameter, and covered with a 5 to 7-mm-thick coal crust. The base of the trunk is situated within a thin coal seam. The majority of the trunk is preserved in a carbonaceous grey lacustrine or swamp mudstone, while the upper part of the trunk has been intruded upon by 5–7 cm of a yellowish-grey lacustrine mudstone bearing impressions of ferns. The stem cast is composed of this yellowish-grey mudstone, which contains remains of ferns and lycopsid branches belonging to two formal species [Shchogolev 1991]. Shchogolev [1978, 1991] makes an conclusion that the accumulation of the lacustrine and swamp deposits containing this stem fragment occurred very quickly, no longer than a few decades.

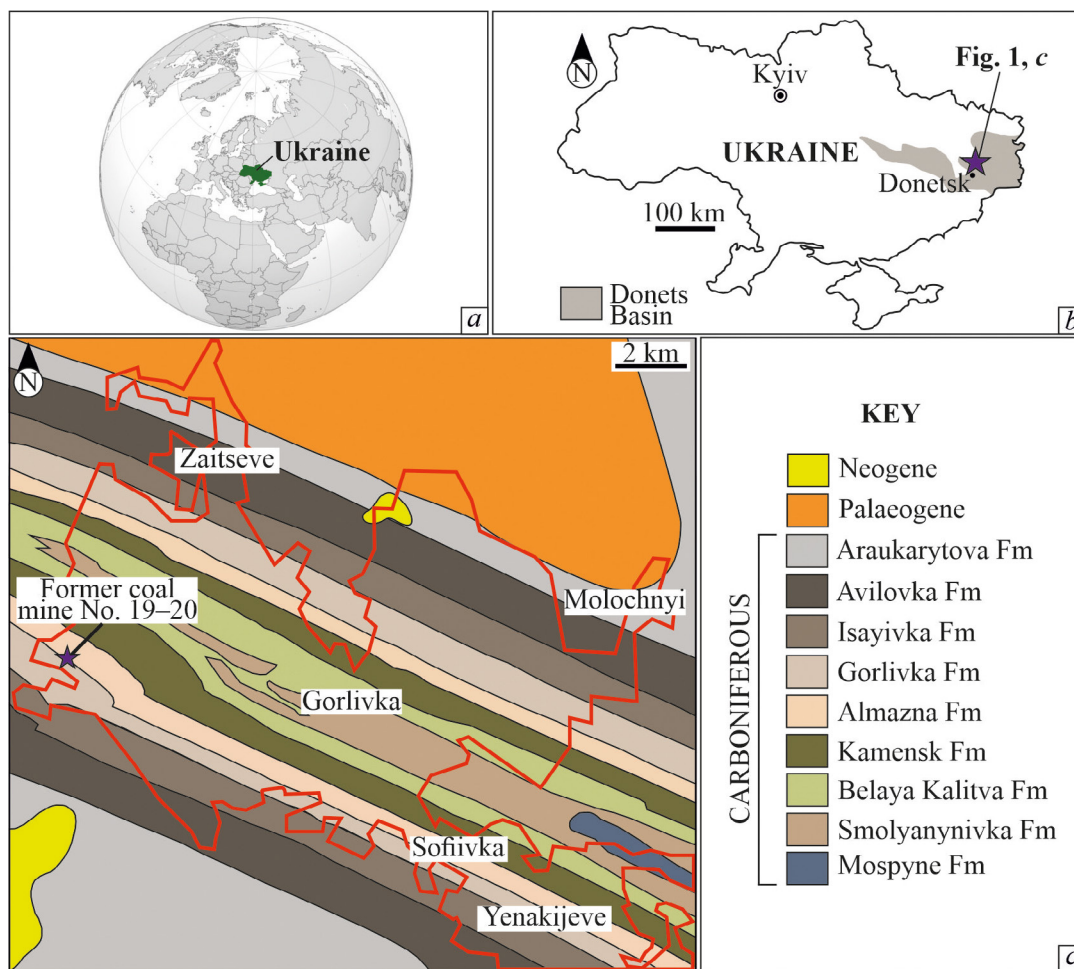
Fissunencko and Snigirevskaya [1981] reported that in the Donets Basin, only a few localities of lycopsid trunks buried in the growth position have been found. They do not specify the localities in question, but noted that trunks are known in a number of coal mines in the Seleznevskiyi mining and industrial district (the area of the towns of Debaltseve and Adrianopil) and Central mining and industrial district (the area of the towns of Gorlivka and Yenakijeve) among deposits of the early Moscovian-aged Kamensk Formation.

The Carboniferous macroflora of the Donets Basin has been studied for more than 150 years [Zerov *et al.* 1972], yet numerous questions pertaining to taxonomy, ecology, and stratigraphic distribution of plant taxa remain unresolved. In this regard, new data on the ecology of Carboniferous terrestrial plants of the Donets Basin are important, especially in the context of identifying the palaeoenvironments by palaeoecological analysis. This paper presents the results of a re-examination of a specimen of the stem base of an arborescent lycopsid belonging to the genus *Sigillaria* Brongniart, 1822, bearing rhizomorphic root organs of the formal genus *Stigmaria* Sternberg, 1822. This specimen is currently on display at the National Museum of Natural History of the Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv. Novik [1939, 1952] provided a brief description and illustration of the trunk, but did not offer a palaeoecological interpretation of her observations. Lycopsid trunks are frequently preserved *in situ* in paralic coal basins in Western Europe and the USA [e.g. DiMichele *et al.* 1996, 2009; Appleton *et al.* 2011; Thomas & Seyfullah 2015; Archer *et al.* 2016]. Often these remains are buried as a result of catastrophic events such as landslides, mudflows, and volcanic ash fall [Calder *et al.* 2006; Wagner & Diez 2007; DiMichele *et al.* 2009; D'Antonio *et al.* 2023]. Consequently, their study is of significant importance from both a taphonomic and a palaeoecological perspective.

A plethora of descriptions of lycopsid trunks preserved in growth position have been published (see review in: Gastaldo 1986; Thomas & Seyfullah 2005), yet there are fewer reports on lycopsid trunks with attached *Stigmaria*. The aim of this study is to re-describe the stem of *Sigillaria* sp. bearing rooting organs *Stigmaria* sp. and to identify its taphonomic and palaeoecological significance.

## Material and Methods

This paper is based on the results of the study of the *Sigillaria* sp. trunk rock cast bearing attached rhizomorphs *Stigmaria* sp. (specimen NMNH-967) exhibited in the 'History of geological development of the territory of Ukraine' hall of the National Museum of Natural History, NAS of Ukraine, Kyiv (acronym: NMNH). The specimen was found in the face of the mine No. 19–20 situated in the city of Gorlivka (Donetsk Oblast, Ukraine) at a depth of 176 m, 300 m south of the mine shaft [Novik 1939] (Fig. 1). This trunk was discovered by the Ukrainian palaeobotanist Kateryna Y. Novik (Fig. 2, a) in 1935. In 1937, this trunk was mounted for display at the Geological Museum of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR (now NMNH) in preparation for the exhibition at the 17th International Geological Congress [Novik 1939].



**Fig. 1.** Geographical location of the coal mine No. 19–20. Geological map in Fig. 1, c is modified after Tarasevich [1960].

**Рис. 1.** Географічне положення вугільної шахти № 19–20. Геологічна карта на рис. 1, c взято з Tarasevich [1960].

From the moment the specimen NMNH-967 was mounted until now, it has been an integral part of the museum's exhibition. Initially, it was on display in the Palaeontology Department of the Geological Museum of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. Since December 1967, after a radical restructurisation of the Geological Museum's exhibition, the specimen has been a central piece of the hall 'History of geological development of the territory of Ukraine' and has been displayed at the end of the hall under the painting 'The Carboniferous forest' (Fig. 2, b) by the outstanding Ukrainian painter and graphic artist Ivan S. Yizhakevych (1864–1962). The advantage of such a location of the *Sigillaria* trunk in the exhibition was the logical sequence in the display in accordance with the chronological principle of the exhibition construction. In 1994, artists V. V. Kolochko and M. I. Ostrovsky and scientific consultant Dr Oleksandr K. Shchogolev (researcher at the Institute of Geological Sciences, NAS of Ukraine) created the diorama 'The forest of the Carboniferous Period,' and in connection with this, the *Sigillaria* trunk was moved from the previous location to the front of the hall 'History of geological development of the territory of Ukraine.'

The description and measurements of the specimen NMNH-967 were performed in January 2024. The taphonomic and palaeoecological interpretation of the studied stem fragment is rather complicated, as it was almost entirely removed from the host rock. Consequently, it is not possible to rely on the lithological features of the rock, except for the information documented by Novik [1939].



**Fig. 2.** Ukrainian palaeobotanist Dr Kateryna Y. Novik (1898–1984) (a) and the specimen NMNH-967 in the exhibition of the Geological Museum, Academy of Sciences of the Ukrainian SSR in 1967 (a distant object under the wall, from the personal archive of Vira P. Franchuk) (b).

**Рис. 2.** Українська вчена-палеоботанік доктор геолого-мінералогічних наук Катерина Йосипівна Новик (1898–1984) (a) та зразок NMNH-967 в експозиції Геологічного музею Академії наук Української РСР в 1967 (дальній об'єкт під стіною, з особистого архіву В. П. Франчук) (b).

## Geological setting

The area of the city of Gorlivka belongs to the Central mining and industrial district of the Donets Basin (cities of Gorlivka, Yenakijeve, and Sofiyivka of Donetsk Oblast; see Fig. 1), which is one of the oldest coal mining areas in the Donets Basin [Belokon 1963; Babenko *et al.* 1975]. This area is situated in the western part of the Golovna Anticline [Babenko *et al.* 1975] or Gorlivka branch (Anticline) of the Golovna Anticline of the Donets folded structure [Sokolov & Lutugin 1910; Nikolsky 1958; Babych *et al.* 1969].

The Gorlivka Formation lies on the Almazna Formation and is overlain by the Isayivka Formation (Fig. 3, a). It consists of a paralic succession of sandstones, siltstones, mudstones, coals (up to 28 seams), and limestones (20 beds) (Fig. 3, b). Beds of fine to coarse-grained sandstones are most developed in the middle and lower parts of the formation. The limestone layer  $M_1$  is a basal bed of the Gorlivka Formation; the upper boundary of this formation is at the base of the  $N_1$  limestone bed. The thickness of this formation varies from 230 m in the north-western part of the Donets Basin to 960 m in the south-eastern part of the basin [Aisenverg *et al.* 1963; Feofilova & Levenshtein 1963; Dunaeva 1969; Kucherenko & Rudometov 1971; Nemyrovskaya & Yefimenko 2013].

Alluvial rocks (16.9% of the section thickness), as well as rocks of peat and clastic swamps (14.2%), lacustrine (3.9%), lagoonal (47.8%), and shallow marine (17.2%) rocks are present in the section of the Gorlivka Formation [Feofilova & Levenshtein 1963: table 2]. Limestones of the formation are mostly bioclastic with rich stenohaline fauna. Some limestone beds are quite thick (up to 3–5 m). A characteristic feature of the lower part of the formation is an exceptionally fast transition up the section of a number of limestones rich in marine fauna, including corals and foraminifers, into swamp rocks [Feofilova & Levenshtein 1963].

The Gorlivka Formation corresponds to the Sabivkian Horizon of the Regional stratigraphic scheme of the Dnipro–Donets Downwarp [Poletaev *et al.* 2011; Nemyrovskaya & Yefimenko 2013]. This formation contains conodonts of the *Swadelina dissecta* Zone (stratigraphic interval bounded by the  $M_1$  and  $M_8$  limestone beds) and the lower part of the *Swadelina gurkovaensis* Zone (the  $M_8$ – $M_{10}^1$  limestone beds) [Nemyrovskaya 2017]. According to conodont studies [Nemyrovskaya 2017: text-fig. 2],

the Sabivkian Horizon of the Donets Basin corresponds to the Podolskian Regional Stage of the stratotype section of the Moscovian Global Stage.

The Gorlivka Formation also contains typical Asturian (= Westphalian D) terrestrial plants [Zallessky & Chirkova 1938; Novik 1974; Fissunencko 1991, 2000; Boyarina 2016], nonmarine bivalves of the *phillipsi* Zone of Western Europe [Sergeeva 1981, 1984]. Popov [1979] and Dernov [2022c] reported the Westphalian D ammonoid species *Wiedeyoceras cambriense* (Bisat, 1930) and *Politoceras* cf. *politum* (Shumard, 1858) from the lower part of the Gorlivka Formation. *Politoceras politum* is typical for the *Wellerites-Paralegoceras* subzone of the *Wellerites* Zone of the Demoinesian (analogous to the upper part of the Moscovian) of the USA [Miller & Owen 1939; Boardman & Work 2013]. The absolute age of the tonstein from the  $m_3$  coal bed, which lies in the lower part of the Gorlivka Formation, is  $310.55 \pm 0.10$  Mya [Davydov *et al.* 2010].

According to Novik [1939, 1952], the studied trunk fragment was removed from a layer of a phytoturbated siltstone (Unit 2 in Fig. 3, c), which lie directly below the  $m_1$  coal bed (= Gryaznyi coal bed in the old nomenclature of coal seams of the Central mining and industrial district; see: [Sokolov & Lutugin 1910; Meffert *et al.* 1926; Sudoplatov & Kurnosov 1965]), which was mined by the coal mine No. 19–20 (Fig. 3, d–e). The  $m_1$  coal seam occurs in the lower part of the Gorlivka Formation (see Fig. 3, b). The rock cast of the trunk was located at approximately perpendicularly to the base of the coal bed [Novik 1939].

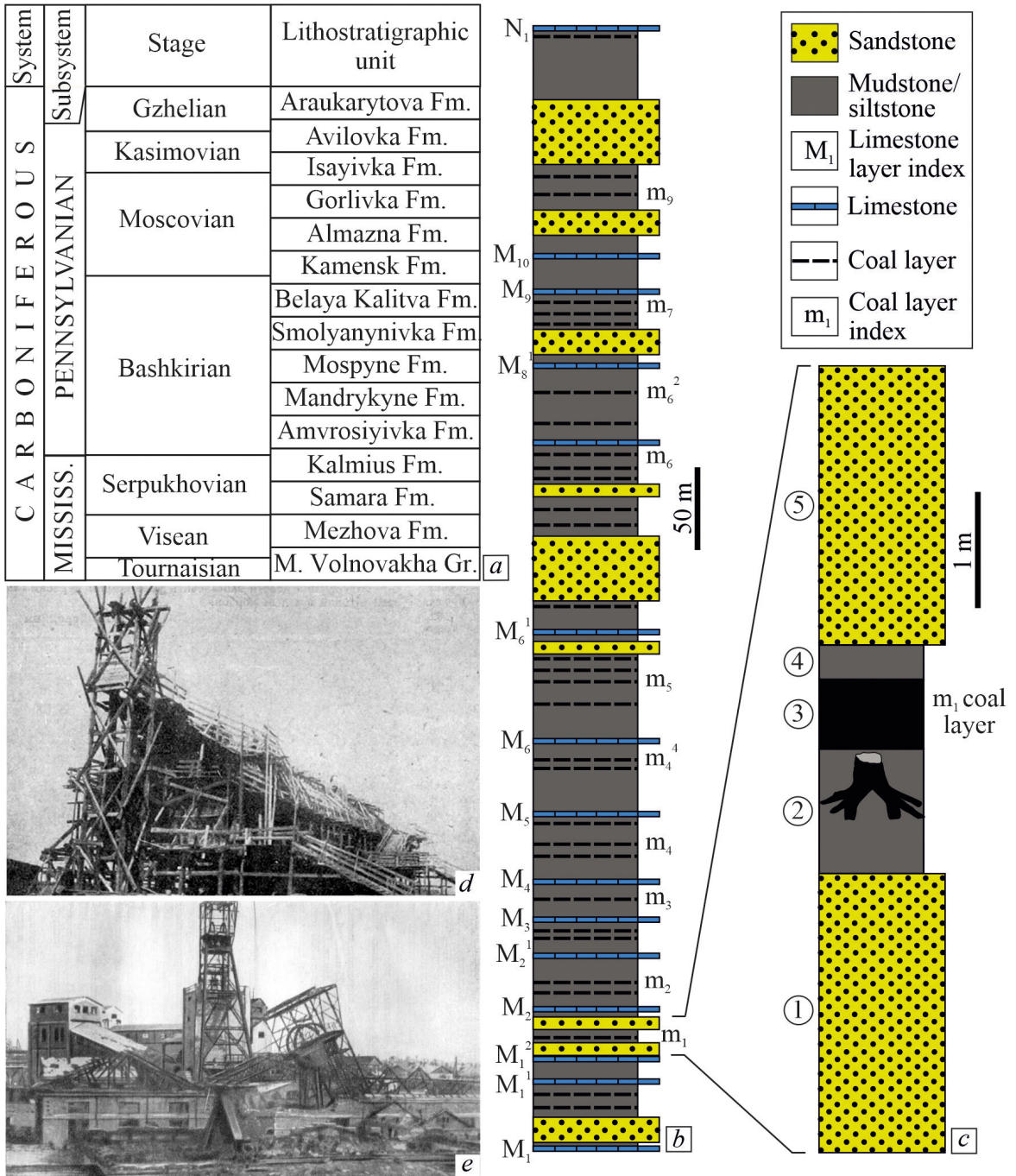
Novik [1939] reports the discovery of two additional *Sigillaria* trunks with rooting organs belonging to the genus *Stigmaria*. These were found in the siltstone bed directly below the  $m_1$  coal seam at a depth of 250 m in the coal mine No. 19–20. The Carboniferous rocks of the Central mining and industrial district form anticline with very high angles (about 50–65° [Nikolsky 1958; Sudoplatov & Kurnosov 1965: fig. 85; Babych *et al.* 1969] (see Fig. 1, c), thus the occurrence of the trunks in the same bed at different depths is not open to doubt.

## Description of the specimen NMNH-967

The trunk NMNH-967 is 1.5 m high and has a maximum diameter (at the base) of 0.75 m (Fig. 4, a–b). The trunk tapers relatively quickly from the base and at a distance of approximately 0.7 m from the base, near a natural break, its diameter is approximately 0.55 m. The surface of the cast is covered with a thin (2–12 mm) carbonitised periderm. The cast of the trunk consists of carbonaceous mudstone containing fragments of terrestrial plants. Longitudinal ribs 3–6 cm wide have been preserved on some parts of the trunk (Fig. 4, e); the width of the same rib may vary slightly. According to Novik [1939], the imprints of these ribs were observed in a shale up to the base of the coal seam, but were not removed from the rock. On the trunk cast, these ribs extend all the way to the base of rooting organs.

Four cylindrical casts of the main rhizomorph axes are radially branching from the base of the trunk at an angle of approximately 40–45° relative to each other (Fig. 4, c). Relative to the vertical axis of the trunk, the rhizomorphs are inclined at angles of approximately 25–30°. Two of these main axes are secondary branching by isotomous dichotomies by angles of *c.* 30–35°. The distal ends of the rhizomorph axes are cut off when the trunk is removed from the rock or when the mine face is sinking. The rhizomorphs are about 1 m in maximal length, 0.3–0.5 m wide at the base and 0.15–0.20 m at the narrowest part. They are strongly flattened during diagenesis and therefore have an ellipsoidal cross-section. It is not entirely clear whether the rhizomorphs on the side of the trunk facing the wall of the museum hall and almost invisible to the observer were originally absent (which is unlikely, because Novik [1939] reports seven rhizomorphs after branching) or they were not preserved/not removed from the rock.

The surface of the rhizomorphs is covered with a glossy and smooth coal crust of unknown thickness (Fig. 4, d). However, in some places, longitudinal rough wrinkles, 10–15 mm wide, have been preserved (Fig. 4, f). The rootlets attachment points are not preserved. The trunk is on a pedestal, 0.1 to 0.5 m high.



**Fig. 3.** Stratigraphic position of the locality of *Sigillaria* sp. preserved *in situ* (a–c) and general view of the coal mine No. 19–20 in 1926 (d) and in 1943 (e). Abbreviations: Kasimov.—Kasimovian, M. Volnovakha Gr.—Mokra Volnovakha Group, Mississip.—Mississippian, Serpukhov.—Serpukhovian, Tour.—Tournaisian. The images in Fig. 2, d and 2, e were sourced from the periodical *Vsesvit* [1929, No. 43–44, November 7, p. 20] and Bakuliov [1956: fig. 10], respectively.

**Рис. 3.** Стратиграфічне положення місцезнаходження *Sigillaria* sp., що збереглась *in situ* (a–c) та загальний вигляд вугільної шахти № 19–20 у 1926 р. (d) та у 1943 р. (e). Скорочення: Kasimov. — касимівський, M. Volnovakha Gr. — мокроволноваська серія, Mississip. — міссісіпій, Serpukhov. — серпуховський, Tour. — турнейський. Фотографії на рис. 2, d та 2, e взяті з журналу «Всесвіт» [1929, № 43–44, 7 листопада, с. 20] та Bakuliov [1956: рис. 10], відповідно.



**Fig. 4.** Trunk of *Sigillaria* with attached rooting organs belonging to *Stigmara* sp. (National Museum of Natural History, NAS of Ukraine, Kyiv; specimen NMNH-967): (a, b) general view of the trunk (white arrow shows an area enlarged in Fig. 3, f), (c, d) rooting organs *Stigmara* sp., (e) longitudinal ribs, (f) wrinkles on the surface of *Stigmara* sp. Scale bars = 0.5 m (a–e) and 0.1 m (f).

**Рис. 4.** Стовбур сигілярії з прикріпленими кореневими органами *Stigmara* sp. (Національний науково-природничий музей НАН України, Київ; екземпляр NMNH-967): (a, b) загальний вигляд стовбура (білою стрілкою показано ділянку, збільшену на рис. 3, f), (c, d) органи вкорінення *Stigmara* sp., (e) поздовжні ребра, (f) зморшки на поверхні *Stigmara* sp. Масштабні відрізки — 0,5 м (a–e) та 0,1 м (f).

## Discussion and concluding remarks

**Taxonomic remarks.** Novik [1939, 1952] attributed the trunk described above to *Sigillaria* sp. This attribution is generally accepted, as some parts of it have preserved the longitudinal broad ribs (see Fig. 4, c) characteristic of this genus [Novik 1952; Ishchenko 1957]. It is important to note that the preservation of this *Sigillaria* stem is very similar to the *Syringodendron*-type preservation, i.e. lycopsid axes that have lost the outer layer of a periderm including the leaf bases [Cleal & Thomas 2018] due to water transportation. However, the trunk is buried *in situ*. This paradox suggests that *Syringodendron*-type preservation of axes occurs not only as a result of transportation, but also sub-aerial destruction of the trunk surface by aggressive environmental agents, such as precipitation, fluctuations in air temperature, wind, organismal activity, etc., or possible periodic immersion in water.

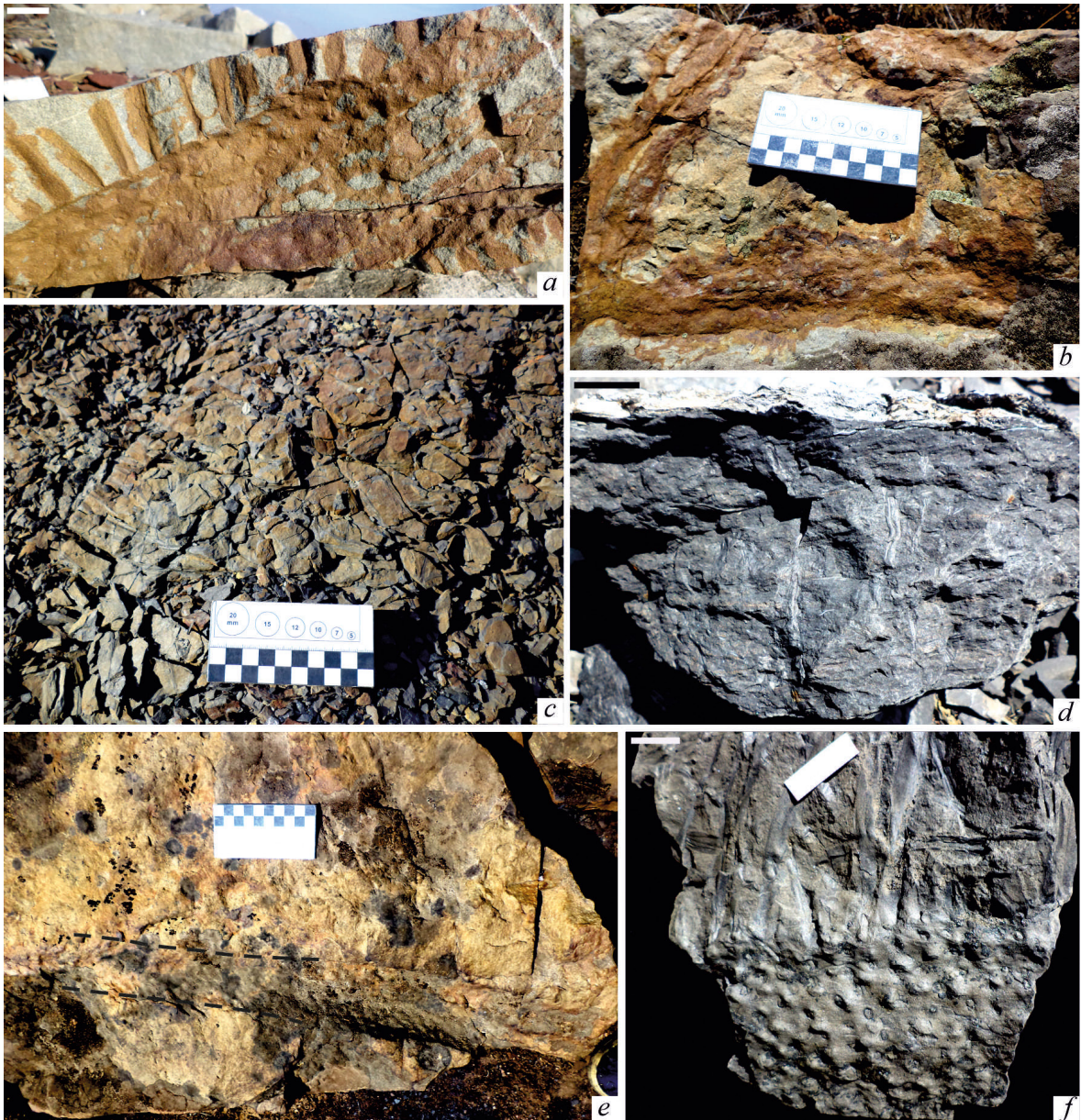
It should also be noted that the characteristic morphological features of the species *Stigmara ficoides* Sternberg, 1822, such as the rounded shape of the lateral appendage scars [Crookall 1966; Novik 1968; Jennings 1980; Charlton & Watson 1982], were not preserved in the specimen NMNH-967. So the assignment of the described rooting organs to *Stigmara ficoides* by Novik [1939, 1952] is premature and cannot be determined more accurately than *Stigmara* sp.

The form genus *Stigmara* Sternberg, 1822 is recognised in plants of at least four families (Ulodendraceae, Sigillariaceae, Diaphorodendraceae, and Lepidodendraceae) and may have been the rooting system in other extinct genera, including *Hizemodendron* Bateman & DiMichele, 1992 [Bateman 1994; DiMichele & Bateman 1996; DiMichele *et al.* 2022]. *Stigmara* is the most common Carboniferous plant fossil in the Donets Basin and one of the most common fossils in general (Fig. 5). This genus is represented in the Carboniferous of the basin by five species: *Stigmara evenii* Lesquereux, 1866 (upper Bashkirian–upper Moscovian), *S. ficoides* Sternberg, 1822, *S. rugulosa* Gothan, 1922 (both: the upper Bashkirian–lower Moscovian), and *S. stellata* Goeppert, 1841 (Visean–Serpukhovian) [Novik 1952, 1968, 1974; Shchogolev 1991; Fissunenکو 2000].

**Palaeoecology and taphonomy.** As illustrated in Fig. 4, a, the main axes of the rhizomorphs branched off the trunk at a rather steep vertical angle. This suggests that the rhizomorphs were situated at a considerable depth within the substrate. This is at odds with the hypothesis put forth by D'Antonio *et al.* [2023] that *Stigmara* axes were subaerial at the proximal end, as it is difficult to assume that rhizomorphs branching at an angle close to 30° remained subaerial. It is important to note that the studied trunk of *Sigillaria* sp. is positioned vertically, with no tilt towards the observer, as is the case of the specimen exhibited in the Osnabrück Museum (D'Antonio *et al.*, 2023). Therefore, there can be no error in our measurements of the angles of the vertical plane.

This assumption is also consistent with the fact that the significantly moist soils on which lycopsids grew were a rather unstable substrate on which it was difficult to establish a foothold. Fissunenکو and Snigirevskaya [1981] note that *Stigmara*, at least from the Carboniferous deposits of the Donets Basin, were predominantly subhorizontal, avoiding the deep horizons of soils contaminated with hydrogen sulphide. It can be added that the probably high water table in the moist soils of the coastal lowland, where peat-forming plant assemblages grew, also limited the depth of penetration of *Stigmara* into the substrate.

The rocks immediately below the coal seams in the Donets Basin are typically mudstones and siltstones, and rarely sandstones, containing *in situ* remains of rhizomorphs of *Stigmara* bearing rootlets [Zaritsky 1970; Babenko *et al.* 1975]. These rocks are heavily phytoturbated and usually lack faunal remains. The plant remains, with the exception of *Stigmara*, are also not typical for these rocks [Zaritsky 1970]. However, Fissunenکو and Snigirevskaya [1981] reported the discovery of marine fauna in palaeosoils below coal seams in the Donets Basin. In the older geological literature on the Carboniferous of the Donets Basin [e.g. Sokolov & Lutugin 1910; Stepanov 1911; Rodygin 1924], these rocks are called 'swamp soils', '*Stigmara* layers/beds' or simply 'curly rocks' (Ukrainian: 'kutcheryavchyk'). The latter is an old expression used by the first Donets miners to refer to phytoturbated rocks with *Stigmara* [Meffert & Krym 1926; Feofilova & Levenshtein 1963; Zaritsky 1970].



**Fig. 5.** *Stigmaria* preserved *in situ* from the Pennsylvanian of the Donets Basin: (a, b, e) *Stigmaria ficoides* from fluvisols of the Mospyne Formation, upper Bashkirian (Luhansk Raion, Luhansk Oblast), (c, f) *Stigmaria ficoides* from histosols of the Mospyne Formation, (d) lateral appendages of *Stigmaria* in a histosol of the late Bashkirian-aged Smolyanivka Formation. Scale bars = 10 mm (a, f) and 100 mm (b–e).

**Рис. 6.** *Stigmaria*, що збереглися *in situ* з пенсильванію Донецького басейну: (a, b, e) *Stigmaria ficoides* з флювісолі моспінської світи (верхня частина башкирського ярусу), Луганський район, Луганська область, (c, f) *Stigmaria ficoides* з гітосолі серед відкладів моспінської світи, (d) аппендикси *Stigmaria* в гітосолі серед відкладів смоляннівської світи. Масштабні відрізки — 10 мм (a, f) та 100 мм (b–e).

Arborescent lycopsids were a significant component of peat-forming plant communities growing in river valleys and wetlands of the coastal lowland of the Donets Basin during the Early and Middle Pennsylvanian [Fissunenکو 1964, 1967, 1988]. In addition to lycopsids (e.g. species of the genera *Lepidodendron*, *Lepidophloios*, *Asolanus*, *Sigillaria*, etc.) that formed the upper layer, these associations also included tree-sized sphenopsids (e.g. *Calamites*), ferns and pteridosperms that formed the middle and lower layers, respectively [Fissunenکو 1964, 1967, 1988]. These wet forests were inhabited

by a diverse fauna, including millipedes belonging to the genus *Arthropleura* [Dernov 2019b], trigonotarbids [Dunlop & Dernov 2023], thelyphonids [Selden *et al.* 2013], and insects [Sharov & Sinitshenkova 1977; Dernov 2019a]. Freshwater lakes formed on the sites of silted peats were inhabited by microconchids [Dernov 2019a], bivalves [Chernyshev 1931; Shul'ga 1948; Sergeeva 1969, 1984; Dernov 2022a and references therein], eurypterids [Chernyshev 1933], conostracans [Chernyshev 1927, 1928; Dunaeva, 1950], horseshoe crabs [Chernyshev 1928; Karlov 1948; Dernov 2019a, b], cycloids [Dernov 2022b], freshwater barnacles [Tchernyshev 1935], and malacostracans [Birshtein 1966; Schram 1980], as well as acanthodians and crossopterigians [Khabakov 1927; Yefimova 1932; Karlov 1968]. It is likely that the water of these lakes was poorly oxygenated because of large amounts of hydrogen sulphide produced by bacterial communities that decomposed large masses of plant debris [Dernov 2019b].

The possibilities of reconstructing the burial conditions of the studied trunk are very limited, since we can rely on a limited data reported by Novik [1939]. The following scenario can be assumed. The sandstone of the Unit 1 is probably of alluvial or deltaic origin, since in the Pennsylvanian deposits of the Donets Basin, thick sandstone beds are of this origin [Logvinenko 1953; Feofilova & Levenshtein 1963]. According to Novik [1939], the siltstone in the lower part of the Unit 2 (see Fig. 3, c) is horizontally-bedded and are probably lacustrine in origin. The progressive downward tectonic movement of the Donets Basin territory resulted in a change from freshwater lakes (Unit 2a) to siliciclastic swamps (Unit 2b), and subsequently to peat swamps (Unit 3). Under such conditions, the palaeosoil (Unit 2a) probably formed very rapidly, as Carboniferous arborescent lycopsids, which had little wood, were very quickly destroyed after the plant died. As a result of upward tectonic movements, the coastal lowland began to receive large volumes of clastic material from the surrounding upland, which had sparse vegetation [Fissunencko 1964, 1967, 1988] and was therefore heavily affected by water erosion. The silting of peat swamps resulted in the formation of freshwater lakes (Unit 4), which were probably later replaced by alluvial and/or deltaic facies (Unit 5).

The presence of at least three *Sigillaria* stumps in a limited area [Novik 1939], while they are absent from many other Carboniferous plant fossil sites in the Donets Basin, indicates unique taphonomic conditions of burial of trunks in the palaeosoil below the  $m_1$  coal bed. Perhaps these conditions were caused by some catastrophic event (e.g. landslide or mudflow) caused by an earthquake or other phenomenon. Evidences of palaeo-earthquakes in the Donets Basin during Carboniferous are represented by clastic dykes [Balynsky 1972; Luchinkin 1978] and submarine slumpings [Reznikov & Lobanov 1973; Dernov 2013; Dernov & Poletaev 2024]. However, we cannot state this confidently due to the inability to get acquainted with the taphonomic conditions of the locality. The absence of a surface layer of bark on both the trunk and rhizomorphs may indicate its rapid destruction in sediment, or, as we are more likely to believe, in subaerial conditions shortly after the plant's death.

### **Acknowledgements**

We would like to thank Dr Volodymyr Grytsenko (National Museum of Natural History, NAS of Ukraine, Kyiv) for the opportunity to examine the specimen NMNH-967. The reviewers, whose comments and suggestions improved the quality of the final version of the manuscript, are also acknowledged.

### **Declarations**

**Funding.** This study was supported by the National Museum of Natural History, National Academy of Sciences of Ukraine (No. 0122U000429).

**Conflict of interests.** The authors have no conflicts of interest to declare that are relevant to the content of this article.

## References

- Aisenverg, D. E., N. E. Brazhnikova, K. O. Novik, A. P. Rotai, P. L. Shul'ga. 1963. Carboniferous stratigraphy of the Donets Basin. Publishing House of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, Kyiv, 1–182. [Russian]
- Appleton, P., J. Malpas, B. A. Thomas, C. J. Cleal. 2011. The Brymbo fossil forest. *Geology Today*, **27** (3): 107–113. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2451.2011.00796.x>
- Archer, A. W., S. Elrick, W. J. Nelson, W. A. DiMichele. 2016. Cataclysmic burial of Pennsylvanian Period coal swamps in the Illinois Basin: Hypertidal sedimentation during Gondwanan glacial melt-water pulses. In: Tessier, B., J.-Y. Reynaud (eds). *Contributions to modern and ancient tidal sedimentology: Proceedings of the Tidalites 2012 Conference*. John Wiley & Sons, Hoboken, 217–231. <https://doi.org/10.1002/9781119218395.ch12>
- Bakuliov, G. D. 1956. *Development of the coal industry in the Donets Basin*. Gospolitizdat, Moscow, 1–672. [Russian]
- Babenko, A. M., V. G. Belokon, Yu. N. Bragin, V. G. Getman, V. G. Konashov, [et al.]. 1975. Geological excursion. In: Aisenverg, D. E., V. V. Lagutina, M. L. Levenshtein, V. S. Popov (eds). *Field excursion guidebook for the Donets Basin*. Moscow, 121–125. [Russian]
- Babych, A. A., Yu. V. Butsyk, A. M. Dobryanskiy, V. A. Korchemagin, A. A. Podkolzin. 1969. Features and conditions of formation of low-amplitude falls of the Gorlivka Anticline of the Donets Basin. *Geological Journal (Ukraine)*, **6**: 105–109. [Russian]
- Balynsky, A. 1972. Clastic dykes of the Donets Basin and their differences from clastic dykes of other coal fields. *Lithology and Mineral Resources*, **4**: 136–141. [Russian]
- Bateman, R. M. 1994. Evolutionary-development change in the growth architecture of fossil rhizomorphic lycopsids: scenarios constructed on cladistic foundations. *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society*, **69**: 527–597. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185x.1994.tb01249.x>
- Belokon, V. G. 1963. Central coal-bearing district. In: Kuznetsov, I. A. (ed.), *Geology of coal and oil shale deposits of the European part of the USSR*. Gostoptekhizdat, Moscow, 670–687. [Russian]
- Birshtein, Ya. A. 1966. Notes on the Palaeozoic malacostracans of the USSR. Pygocephalomorpha. *Paleontological Journal*, **2**: 49–56. [Russian]
- Bisat, W. S. 1930. On the goniatite and nautiloid fauna of the Middle Coal Measures of England and Wales. *Summary of progress of the Geological Survey of Great Britain and the Museum of Practical Geology for the Year 1929*, **3**: 75–90.
- Boardman, D. R., D. M. Work. 2013. Pennsylvanian (Desmoinesian–Virgilian) ammonoid zonation for Midcontinent North America. *Stratigraphy*, **10** (1–2): 105–116.
- Boyarina, N. I. 2006a. Late Stephanian–early Autunian flora of the Kartamysh Suite of the Donets Basin. *Palaeontological Review (Lviv)*, **38**: 3–10. [Ukrainian]
- Boyarina, N. I. 2006b. The late Carboniferous *Odontopteris* Brongniart of the Donets Basin: morphology, plant-bearing sedimentary facies and distribution. *Collection of scientific works of the Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine*, for 2006: 182–189. [Russian]
- Boyarina, N. I. 2010. Late Gzhelian pteridosperms with callipterid foliage of the Donets Basin, Ukraine. *Acta Palaeontologica Polonica*, **55** (2): 343–359. <https://doi.org/10.4202/app.2009.0020>
- Boyarina, N. I. 2016. Middle and Upper Carboniferous (Pennsylvanian) megafloral zones of the Donets Basin. *Geological Journal (Ukraine)*, **354**: 21–35. [In Russian] <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2016.1.97280>
- Brongniart, A. 1822. Sur la classification et la distribution des végétaux fossiles. *Mémoires du Muséum National d'Histoire naturelle*, **8**: 203–240, 297–348.
- Brongniart, A. 1828. Histoire des végétaux fossiles ou recherches botaniques et géologiques sur les végétaux renfermés dans les diverses couches du globe. Volume 1. G. Dufour et Ed. d'Ocagne, Paris, 1–288. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.60992>
- Calder, J. H., M. R. Gibling, A. C. Scott, S. J. Davies, B. L. Hebert. 2006. A fossil lycosid forest succession in the classic Joggins section of Nova Scotia: Paleoecology of a disturbance-prone Pennsylvanian wetland. In: Greb, S. F., W. A. DiMichele (eds), *Wetlands through time: Geological Society of America Special Paper*, **399**: 169–195. [https://doi.org/10.1130/2006.2399\(09\)](https://doi.org/10.1130/2006.2399(09))
- Charlton, W. A., J. Watson. 1982. Patterns of arrangement of lateral appendages on axes of *Stigmario ficoides* (Sternberg) Brongniart. *Botanical Journal of the Linnean Society*, **84**: 209–221. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.1982.tb00535.x>
- Chernyshev, B. I. 1927. On *Estheria* and *Estheriella* from the Donets Basin. *Yearbook of the Russian Palaeontological Society*, **6**: 67–82. [Russian]
- Chernyshev, B. I. 1928. More on Phyllopora and Xiphosura of the Donets Basin. *Proceedings of the Geological Committee*, **47**: 519–533. [Russian]
- Chernyshev, B. I. 1931. *Carbonicola*, *Anthracomya* and *Najadites* of the Donets Basin. *Proceedings of the Main Geological Exploration Department*, **72**: 1–120. [Russian]
- Chernyshev, B. I. 1933. Arthropods from the Urals and other regions of the USSR. *Materials of the Central Research Institute of Geological Prospecting: Palaeontology and stratigraphy*, **1**: 15–24. [Russian]
- Cleal, C. J., B. A. Thomas. 2018. Nomenclatural status of the palaeobotanical “artificial taxa” established in Brongniart's 1822 “Classification” paper. *Fossil Imprint*, **74** (1–2): 9–28. <https://doi.org/10.2478/if-2018-0001>

- Crookall, R. 1966. Fossil plants of the Carboniferous rocks of Great Britain [Second Section]. *Memoirs of the Geological Survey of Great Britain, Palaeontology*, **4** (4): 355–571.
- D'Antonio, M. P., C. M. Breasley, H. W. Pfefferkorn, J. Wang, C. K. Boyce. 2023. *Stigmara*: on the substrate before in the substrate. *Palaeoworld*, available online: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1871174X23000744>
- Davydov, V. I., J. L. Crowley, M. D. Schmitz, V. I. Poletaev. 2010. High-precision U–Pb zircon age calibration of the global Carboniferous time scale and Milankovitch band cyclicity in the Donets Basin, eastern Ukraine. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, **11**: 1–22. <https://doi.org/10.1029/2009gc002736>
- Dernov, V. S. 2013. Evidence of submarine slumpings in the middle Carboniferous deposits of the central Donets Basin and their scientific significance. *Scientific research of the geographical community: past, present, future. Proceedings of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference dedicated to the 75<sup>th</sup> anniversary of the creation of Luhansk Oblast (Luhansk, 8–10 October, 2013)*. Luhansk, 86–90. [Ukrainian]
- Dernov, V. 2019a. Taphonomy and paleoecology of fauna and flora from deltaic sandstones of the Mospinka Formation (Middle Carboniferous) of the Donets Basin. *GEO&BIO*, **18**: 37–63. <https://doi.org/10.15407/gb1805>
- Dernov, V. S. 2019b. On the study of the non-marine fauna of the Mospino Formation (Middle Carboniferous, Donets Basin). *Tectonics and Stratigraphy*, **46**: 105–115. [Russian] <https://doi.org/10.30836/igs.0375-7773.2019.208882>
- Dernov, V. 2022a. Non-marine bivalves from the Mospyne Formation (upper Bashkirian) of the Donets Basin: taxonomy, paleoecology, and stratigraphic significance. *Geological Journal (Ukraine)*, **380**: 34–56. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2022.3.255491>
- Dernov, V. S. 2022b. The first record of Cyclida (Pancrustacea, Multicrustacea) in the Carboniferous of the Donets Basin, Ukraine. *Collection of scientific works of the Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine*, **15** (1): 78–85. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2022.267079>
- Dernov, V. S. 2022c. Ammonoid biostratigraphy of the Bashkirian (Pennsylvanian) in the Donets Basin. *Collection of scientific works of the Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine*, **15** (2): 123–137. [Ukrainian] <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2022.267080>
- Dernov, V. S., V. I. Poletaev. 2024. New geological and palaeontological data of the Dyakove Group (Carboniferous) and age-related rock formations of the central Donets Basin, Ukraine. *Geological Journal (Ukraine)*, **386**: 3–21. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.1.285644>
- Dernov, V. S., N. I. Udovychenko. 2019. On the palaeobotanical characteristics of the Mospyne Formation (middle Carboniferous, Donets Basin). *V. N. Karazin Kharkiv National University Bulletin. Series Geology, Geography, Ecology*, **51**: 67–82. [Russian] <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-05>
- Dernov, V. S., M. I. Udovychenko. 2021. The classical locality of fossil plants of the Belaya Kalitva Formations (upper Bashkirian, Carboniferous) of the Donets Basin (Ukraine). *Geological Journal (Ukraine)*, **4**: 71–89. [Ukrainian] <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2021.4.238770>
- DiMichele, W. A., R. M. Bateman. 1996. The rhizomorphic lycopsids: a case study in paleobotanical classification. *Systematic Botany*, **21** (4): 535–552. <https://doi.org/10.2307/2419613>
- DiMichele, W. A., R. M. Bateman, G. W. Rothwell, I. A. P. Duijnste, S. D. Elrick, C. V. Looy. 2022. *Stigmara*: a review of the anatomy, development, and functional morphology of the rootstock of the arboreous lycopsids. *International Journal of Plant Sciences*, **183** (6): 493–534. <https://doi.org/10.1086/720641>
- DiMichele, W. A., C. F. Eble, D. S. Chaney. 1996. A drowned lycopsid forest above the Mahoning coal (Cone-maugh Group, Upper Pennsylvanian) in eastern Ohio, U.S.A. *International Journal of Coal Geology*, **31**: 249–276. [https://doi.org/10.1016/s0166-5162\(96\)00019-5](https://doi.org/10.1016/s0166-5162(96)00019-5)
- DiMichele, W. A., W. J. Nelson, S. Elrick, P. R. Ames. 2009. Catastrophically buried Middle Pennsylvanian *Sigillaria* and calamitean sphenopsids from Indiana, USA: what kind of vegetation was this? *PALAIOS*, **24** (3/4): 159–166. <https://doi.org/10.2110/palo.2008.p08-051r>
- Dunaeva, N. N. 1950. On Branchiopoda from the Upper Carboniferous strata of the Donets Basin. *Materials on the stratigraphy and palaeontology of the Donets Basin*. Ugletekhizdat, Kharkiv-Moscow, 160–174. [Russian]
- Dunaeva, N. M. 1969. Open Donets Basin. In: *Bondarchuk, V. G. (ed.), Stratigraphy of the Ukrainian SSR. Volume V. Carboniferous*. Naukova Dumka, Kyiv, 21–48. [Ukrainian]
- Dunlop, J. A., V. S. Dernov. 2023. The first trigonotarbid arachnid from Ukraine. *Acta Geologica Polonica*, **73** (2): 181–187. <https://doi.org/10.24425/agnp.2022.143600>
- Feofilova, A. P. 1971. Issue of the study and classification of palaeosoils on the example of Permo–Carboniferous deposits of the Donets Basin. *Lithology and Mineral Resources*, **6**: 28–43. [Russian]
- Feofilova, A. P. 1972. Concretions in Permo–Carboniferous palaeosoils of the Donets Basin and their relation to climate. *Lithology and Mineral Resources*, **5**: 67–74. [Russian]
- Feofilova, A. P., M. L. Levenshtein. 1963. Features of the sedimentation and coal accumulation in the Early and middle Carboniferous of the Donets Basin. Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, Moscow, 1–175. [Russian]
- Fissunencko, O. P. 1964. About two middle Carboniferous vegetation assemblages of the Donets Basin and stages of their development. *Problems of regularities and forms of development of the organic world. Proceedings of the 7<sup>th</sup> session of the All-Union Palaeontological Society*. Nedra, Moscow, 148–157. [Russian]

- Fissunenکو, O. P. 1967. Regularities of the formation of the middle Carboniferous flora of the Donets Basin. *Problems of palaeogeographic zoning in the light of palaeontological data. Proceedings of the 9<sup>th</sup> session of the All-Union Palaeontological Society*. Nedra, Moscow, 107–118. [Russian]
- Fissunenکو, O. P. 1988. Landscapes of the middle Carboniferous of the Donets Basin. *Palaeontology and reconstruction of the geological history of palaeobasins. Proceedings of the 29<sup>th</sup> session of the All-Union Palaeontological Society*. Nauka, Leningrad, 92–99. [Russian]
- Fissunenکو, O. P. 1991. Zonal phytostatigraphical scale of the Lower and middle Carboniferous of the Donets Basin. *Geological Journal (Ukraine)*, **258** (3): 55–64. [Russian]
- Fissunenکو, O. P. 2000. On the problem of the Moscovian Stage. Publishing House of Luhansk University, Luhansk, 1–66. [In Russian]
- Fissunenکو, O. P., N. S. Snigirevskaya. 1981. Peat-forming plant communities of the middle Carboniferous of the Donets Basin. *Life on ancient continents, its formation and development. Proceedings of the 23<sup>rd</sup> session of the All-Union Palaeontological Society*. Nauka, Leningrad, 98–106. [Russian]
- Gastaldo, R. A. 1986. Implications on the paleoecology of autochthonous lycopods in clastic sedimentary environments of the Early Pennsylvanian of Alabama. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **53**: 191–212. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(86\)90044-1](https://doi.org/10.1016/0031-0182(86)90044-1)
- Goeppert, H. R. 1841–1845. Die Gattungen der fossilen Pflanzen. Verlag von Henry und Cohen, Bonn, 1–120.
- Ishchenko, T. A. 1957. Middle Carboniferous flora of the central part of the Donets Basin. *Transactions of the Institute of Geological Sciences, Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. Series of Palaeontology and Stratigraphy*, **12**: 1–134. [Russian]
- Jennings, J. R. 1980. Fossil plants from the Fountain Formation (Pennsylvanian) of Colorado. *Journal of Paleontology*, **54** (1): 149–158.
- Karlov, N. N. 1948. *Prestwischinella tschernyschevi* sp. nov., a new representative of Xiphosura from the Carboniferous coal-bearing succession of the Donets Basin. *Collection of papers on palaeontology and stratigraphy*. Publishing House of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, Kyiv, 41–47. [Ukrainian]
- Karlov, N. N. 1968. *Gyracanthus formosus* Agassiz from the Carboniferous of the Donets Basin. *Palaeontological Review (Lviv)*, **5** (1), 107–109. [Russian]
- Khabakov, A. V. 1927. On crossopterigians from the Russian Carboniferous. *Proceedings of the Geological Committee*, **46** (4): 299–310. [Russian]
- Krendovskiy, M. E. 1880. Description of petrified trees collected mainly in the south of Russia. Part 2. Publishing House of the Kharkiv University, Kharkiv, 1–32. [Russian]
- Kucherenko, M. T., B. P. Rudometov. 1971. Peculiarities of changes in the coal-bearing capacity of the C<sub>2</sub><sup>7</sup> formation in the Donets Basin. *Lithology and Mineral Resources*, **5**: 52–58. [Russian]
- Lepekhnina, V. G. 1984. Wood of Late Carboniferous gymnosperms of the Donets Basin. *Yearbook of the All-Union Palaeontological Society*, **27**: 65–80. [Russian]
- Lesquereux, L. 1866. Report on the fossil plants of Illinois. *Illinois State Geological Survey, Palaeontology*, **2**: 425–470. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.146475>
- Logvinenko, N. V. 1953. Lithology and palaeogeography of the Carboniferous coal-bearing deposits of the Donets Basin. Kharkiv University Publishing House, Kharkiv, 1–436. [Russian]
- Luchinkin, A. G. 1978. Clastic dykes in the middle Carboniferous clayey and sandy deposits of the Severnaya Anticline of the Donets Basin. *Tectonics and Stratigraphy*, **15**: 46–47. [Russian]
- Meffert, B. F., P. I. Stepanov, N. A. Rodygin, V. I. Sokolov, V. I. Yavorsky [et al.]. 1926. Synonymy of coal seams in the Donets Basin. Publishing House of the Geological Committee, Leningrad, 1–178. [Russian]
- Meffert, B. F., V. S. Krym. 1926. Coals of the Donets basin. Part 2. Coals of Almazny and Maryevsky districts. 1. Text. Publishing House of the Geological Committee, Leningrad, 1–339. [Russian]
- Miller, A. K., J. B. Owen. 1939. An ammonoid fauna from the Lower Pennsylvanian Cherokee Formation of Missouri. *Journal of Paleontology*, **13** (2), 141–162.
- Nemyrovska, T. I. 2017. Late Mississippian–Middle Pennsylvanian conodont zonation of Ukraine. *Stratigraphy*, **14**: 299–217. <https://doi.org/10.29041/strat.14.1-4.299-318>
- Nemyrovska, T. I., V. I. Yefimenko. 2013. Middle Carboniferous (Lower Pennsylvanian). In: *Gozhik, P. F. (ed.), Stratigraphy of the Upper Proterozoic and Phanerozoic of Ukraine. Volume 1. Stratigraphy of the Upper Proterozoic, Palaeozoic and Mesozoic*. Logos, Kyiv, 283–303. [Ukrainian]
- Nikolsky, I. L. 1958. Some features of the geological structure of one area in the central Donets Basin. *Proceedings of the G. V. Plekhanov Leningrad Mining Institute*, **33** (2): 124–130. [Russian]
- Novik, K. O. 1939. Stratigraphy and fossil plants of the Gorlivka Formation of the Kal'mius-Torets Depression. *Geological Journal (Ukraine)*, **6** (1–2): 55–128. [Ukrainian]
- Novik, E. O. 1952. *Carboniferous flora of the European part of the USSR*. Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, Moscow, 1–468. [Russian]
- Novik, E. O. Early Carboniferous flora of the Donets Basin and its western extension. *Naukova Dumka, Kyiv*, 1–234. [Russian]
- Novik, E. O. 1974. Regularities in the development of Carboniferous flora of the south of the European part of the USSR. *Naukova Dumka, Kyiv*, 1–140. [Russian]

- Poletaev, V. I., M. V. Vdovenko, O. K. Shchogolev, N. I. Boyarina, I. A. Makarov. 2011. Stratotypes of the Carboniferous and Lower Permian regional stratigraphic units of the Dnipro-Donets Downwarp. *Logos*, Kyiv, 1–236. [Ukrainian]
- Popov, A. V. 1979. Carboniferous ammonoids of the Donets Basin and their stratigraphic significance. *Proceedings of the All-Union Geological Institute, new series*, **220**: 1–119. [Russian]
- Reznikov, A. I., A. I. Lobanov. 1973. Some features of the Carboniferous sedimentation in the Golovna anticline area of the Donets Basin. *Geological Journal (Ukraine)*, **33** (1): 129–135. [Ukrainian]
- Rodygin, N. A. 1924. Geological review of the Bokovo-Khrustalnyi anthracite area of the Donets Basin. Geological Committee, Leningrad, 1–66. [Russian]
- Rößler, R., S. Niemirowska, R. Noll, Z. Feng. 2023. Neue Kieselholz-Funde mit der Käferfraßspur *Pectichnus multicylindricus*: Entstehung, Holzreaktion und Verbreitung. *Veröffentlichungen Museum für Naturkunde Chemnitz*, **46**: 39–64.
- Schram, F. R. 1980. *Pygocephalus* from the Upper Carboniferous of the Soviet Union. *Journal of Paleontology*, **54** (1): 50–56.
- Selden, P. A., D. E. Shcherbakov, J. A. Dunlop, K. Yu. Eskov. 2013. Arachnids from the Carboniferous of Russia and Ukraine, and the Permian of Kazakhstan. *Paläontologische Zeitschrift*, **88**: 297–307. <https://doi.org/10.1007/s12542-013-0198-9>
- Sergeeva, M. T. 1969. Upper Visean, Namurian and Bashkirian bivalves of the Greater Donets Basin. *Naukova Dumka*, Kyiv, 1–144. [In Russian]
- Sergeeva, M. T. 1981. Bashkirian (Middle Carboniferous) bivalves of the Donets Basin and their stratigraphic significance. *Tectonics and Stratigraphy*, **21**: 53–61. [Russian]
- Sergeeva, M. T. 1984. On the evolution of the Carboniferous non-marine bivalves of the USSR. In: *Vyalov, O. S. (ed.), Palaeontology and stratigraphy of the Phanerozoic of Ukraine*. Naukova Dumka, Kyiv, 49–53. [Russian]
- Sharov, A. G., N. D. Sinitshenkova. 1977. New Palaeodictyoptera from the USSR. *Paleontological Journal*, **11**: 44–59. [Russian]
- Shchogolev, A. K. 1978. Significance of taphonomic studies of plant remains for determination of sedimentation rate. In: *Kulikov, M. V., L. I. Khozatskyi, M. R. Dzhililov (eds), Issues of taphonomy and palaeobiology*. Donish, Dushanbe, 149–153. [Russian]
- Shchogolev, A. K. 1991. Late Carboniferous lycopsids and sphenopsids. *Naukova Dumka*, Kyiv, 1–128. [Russian]
- Shul'ga, P. L. (1948). Carboniferous freshwater bivalves of the western part of the Donets Basin. Publishing House of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, Kyiv, 1–59. [Ukrainian]
- Shumard, B. F. 1858. Notice of new fossils from the Permian strata of New Mexico and Texas, collected by Dr. George G. Shumard, geologist of the United States Government Expedition for obtaining water by means of artesian wells along the 32<sup>nd</sup> Parallel, under the direction of Capt. John Pope. *Transactions of the Academy of Science of St. Louis*: 291–297.
- Snigirevskaya, N. S. 1972. Studies of coal balls of the Donets Basin. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **14** (1–2): 197–204. [https://doi.org/10.1016/0034-6667\(72\)90019-X](https://doi.org/10.1016/0034-6667(72)90019-X)
- Sokolov, V. I., L. I. Lutugin. 1910. The Gorlivka district of the Golovna Anticline of the Donets Basin. *Proceedings of the Geological Committee, new series*, **53**: 1–50. [Russian]
- Stepanov, P. I. 1911. Detailed geological map of the Donets coal basin. Description of the sheet VII-26. Western part of Dolzhansk Depression. Area of the sloboda of Roven'ki and the village Nagol'noye. Geological Committee, Saint Petersburg, 1–143. [Russian]
- Sternberg, K. von. 1820–1838. Versuch einer geognostisch-botanischer Darstellung der Flora der Vorwelt II, 7/8. Gotlieb Hässe Söhne, Prague, 81–220. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.154066>
- Sudoplatov, A. P., A. M. Kurnosov. 1965. Mines of the Donets Basin. Nedra, Moscow, 1–612. [Russian]
- Tarasevich, G. L. 1960. Geological map of the USSR. Donets Basin Series. Sheet M-37-XXXIII. [Russian]
- Tchernyshev, B. 1935. Cirripedia aus den Donez- und Kuznezbecken. *Yearbook of the All-Russian Palaeontological Society*, **10**, 31–38.
- Thomas, B. A. 2005. The palaeobotanical beginnings of geological conservation: with case studies from the USA, Canada and Great Britain. In: *Bowden, A. J., C. V. Burek, R. Wilding (eds), History of Palaeobotany: Selected Essays*. Geological Society, London, *Special Publications*, **241**: 95–109. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.2003.207.01.08>
- Thomas, B. A., L. J. Seyfullah. 2015. *Stigmaria* Brongniart: a new specimen from Duckmantian (Lower Pennsylvanian) Brymbo (Wrexham, North Wales) together with a review of known casts and how they were preserved. *Geological Magazine*, **152** (5): 858–870. <https://doi.org/10.1017/s0016756815000035>
- Wagner, R. H., J. B. Diez. 2007. Verdena (Spain): Life and death of a Carboniferous forest community. *Comptes Rendus Palevol*, **6**: 495–504. <https://doi.org/10.1016/j.crpv.2007.09.021>
- Yefimova, A. F. 1932. A note on *Gyracanthus* aff. *formosus* Agassiz from the Carboniferous of the Donets Basin. *Scientific notes of the Dnipropetrovsk branch of the Geological Institute*, 63–64. [Russian]
- Zalesky, M. D. 1910a. On finds of plant remains with preserved structure in one of the rock bed under the S(I<sub>3</sub>) limestone layer of the general section of Carboniferous deposits of the Donets Basin. *Bulletin de l'Académie Impériale des Sciences de St.-Petersbourg. VI série*, **4** (6): 447–449.

- Zalessky, M. D. 1910b. On the discovery of the calcareous concretions known as coal balls in one of the coal seams of the Carboniferous strata of the Donetz Basin. *Bulletin de l'Academie Imperiale des Sciences de St.-Petersbourg. VI serie*, 4 (6): 477–480.
- Zalessky, M. D. 1937. On some new Carboniferous and Permian plants from the Donets Basin. *Problems of Palaeontology*, 2–3: 158–193. [Russian]
- Zalessky, M. D., E. F. Chirkova. 1938. The fossil flora of the middle Carboniferous rocks of the Donets Basin. *Transactions of the Central Geological and Prospecting Institute*, 98: 154–169. [Russian]
- Zaritsky, P. V. 1970. Mineralogy and geochemistry of diagenesis of coal-bearing deposits (on the materials of the Donets Basin). Part 1. Kharkiv University Publishing House, Kharkiv, 1–224. [Russian]
- Zerov, D. K., K. O. Novik, N. O. Shchekina, K. O. Kovalenko. 1972. To the centenary of palaeobotanical research in Ukraine. Bibliographic index (1872–1971). Kyiv, Naukova Dumka, 1–120. [Russian]

# Research and application of unique and rare earth elements in Ukraine: the way to innovation and sustainable development

Uliana Naumenko<sup>1,2</sup>, Victor Matsui<sup>1</sup>, Oleksii Naumenko<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Geological Sciences, NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

<sup>2</sup> French Geological Survey (BRGM) (Orléans, France)

## article info

### key words

Ukrainian Shield, titanium deposits, impurities, unique and rare earth elements, ilmenite.

### correspondence to

Uliana Naumenko; Institute of Geological Sciences, NAS of Ukraine, 55b Oles Honchar Street, Kyiv, 01054 Ukraine; Email: uznaum@gmail.com; orcid: 0000-0001-9420-4044

### article history

Submitted: 06.03.2024. Revised: 22.10.2024. Accepted: 30.10.2024

### cite as

Naumenko, U., V. Matsui, O. Naumenko. 2024. Research and application of unique and rare earth elements in Ukraine: the way to innovation and sustainable development. *GEO&BIO*, 26: 95–103. [English, with Ukrainian summary]

## abstract

As environmental challenges have intensified, developed nations have increasingly focused on advancing technologies aimed at reducing environmental impacts. Consequently, minerals such as titanium, cobalt, and various rare and rare earth metals have become critical components of green technologies, playing a pivotal role in the energy transition from fossil fuels to alternative energy sources in advanced economies. Ukraine possesses substantial reserves of rare and rare earth elements, including tungsten, tantalum, niobium, indium, and others. These elements exhibit unique physical and chemical properties that render them essential for industrial applications, including use as alloying additives in steels and alloys, in electronics, magnetic materials, catalysts, and nuclear technologies. Nearly all titanium and iron ore deposits in Ukraine are complex, containing valuable rare-metal impurities such as vanadium, scandium, tantalum, niobium, zirconium, hafnium, thorium, tungsten, tin, gallium, indium, and yttrium. The present study identifies three primary sources of rare earth elements in Ukraine: primary apatite-ilmenite deposits, exogenous deposits resulting from weathering, and complex ilmenite-rutile and ilmenite-zircon deposits. The composition of valuable impurities in titanium ores varies depending on the specific deposit and geological conditions, underscoring the necessity of detailed mineralogical and geochemical analyses at each location. This research is based in investigations of titanium-bearing minerals within the Ukrainian crystalline shield, as well as the review of over 200 production reports. The paper outlines the formation patterns of various deposit types and emphasises the need for continued research into rare metals across diverse geological formations, including the exploration of alternative sources for extracting valuable impurities. Ukraine is preparing to implement modern, waste-free technologies for the extraction and comprehensive processing of its mineral resources. Failing to recognise the complex nature of these deposits can result in the loss of rare metals such as vanadium, hafnium, and zirconium. This paper further explores the potential of transitioning to environmentally sustainable methods for mining titanium and iron ores, with the concurrent recovery of rare metal by-products.

© 2024 The Author(s); Published by the National Museum of Natural History, NAS of Ukraine on behalf of GEO&BIO. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY-SA 4.0), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

# Дослідження та застосування рідкісних і рідкісноземельних елементів в Україні: шлях до інновацій та сталого розвитку

Уляна Науменко, Віктор Мацуй, Олексій Науменко

**Резюме.** Зі зростанням екологічних викликів розвинені країни активізували розвиток технологій, спрямованих на мінімізацію впливу на довкілля. Як наслідок, важливими складовими «зеленого» виробництва стали мінерали, такі як титан, кобальт та різні рідкісні й рідкісноземельні метали, які набули ключового значення для країн із розвинутою економікою, що здійснюють енергетичний перехід від викопного палива до альтернативних джерел енергії. Україна володіє значними запасами рідкісних і рідкісноземельних елементів, включаючи вольфрам, тантал, ніобій, індій та інші. Ці елементи мають унікальні фізико-хімічні властивості, які забезпечують їх широке застосування в промисловості, зокрема як легувальні добавки у сплавах та сталях, в електроніці, магнітних матеріалах, каталізаторах і ядерних технологіях. Практично всі титанові та залізні рудні родовища України є комплексними, містять цінні рідкіснометалеві домішки, такі як ванадій, скандій, тантал, ніобій, цирконій, гафній, торій, вольфрам, олово, галій, індій та ітрій. Дослідження авторів виокремило три основні джерела рідкісноземельних елементів в Україні: первинні апатит-ільменітові родовища, екзогенні родовища, утворені в результаті вивітрювання, та комплексні розсипи ільменіт-рутилових і ільменіт-цирконових руд. Склад цінних домішок у титанових рудах варіюється в залежності від конкретного родовища та геологічних умов, що обумовлює необхідність детальних досліджень мінералогічного складу та вмісту металів конкретної локації. Наша робота базується на дослідженнях титановмісних мінералів Українського кристалічного щита та аналізі понад 200 виробничих звітів. У статті висвітлено закономірності формування різних типів родовищ і розглянута важливість подальших досліджень рідкісних металів в різних геологічних формаціях, включаючи альтернативні джерела вилучення цінних домішок. Україна планує впроваджувати сучасні безвідходні технології для видобутку й комплексної переробки мінеральних ресурсів. Недооцінка комплексності рудних розсипів може призвести до втрат рідкісних металів, таких як ванадій, гафній та цирконій. У роботі розглянуто перспективи переходу на екологічно чисті методи видобутку титанових і залізних руд з одночасним вилученням рідкіснометалевих домішок.

Ключові слова: Український щит, титанові поклади, домішки, рідкісні і розсіяні елементи, ільменіт.

Адреса для зв'язку: Уляна Науменко; Інститут геологічних наук НАН України; вул. Олесь Гончара 55-6, Київ, 01061 Україна; Email: uznaum@gmail.com; orcid: 0000-0001-9420-4044.

## Introduction

Ukraine has large mineral resources, making it one of the richest European countries in terms of titanium, rare earth metals and lithium, estimated at between USD 3 and 11.5 trillion (according to the State Service of Geology and Mineral Resources of Ukraine). In 2021, the European Union signed a strategic partnership agreement with Ukraine on raw materials, which sparked a surge of interest from private companies in different countries. One of the fundamental features of Ukraine's geological structure is the diversity of its deposits. Rare and scattered elements are unevenly distributed, but significant quantities can be found in the Ukrainian Carpathians, Zakarpattia, Crimean Peninsula and other southern regions of the country. For example, the Ukrainian titanium province encompasses nine regions rich in titanium deposits: the north-eastern part of the Ukrainian Shield, the Dniro–Donetsk Depression and part of the south-western slope of the Voronezh crystalline massif, and the northern coast of the Black Sea and Sea of Azov [Atlas ... 2001] (Fig. 1). These deposits can be classified based on genetic types and the associated geological formations. Among these types are the following:

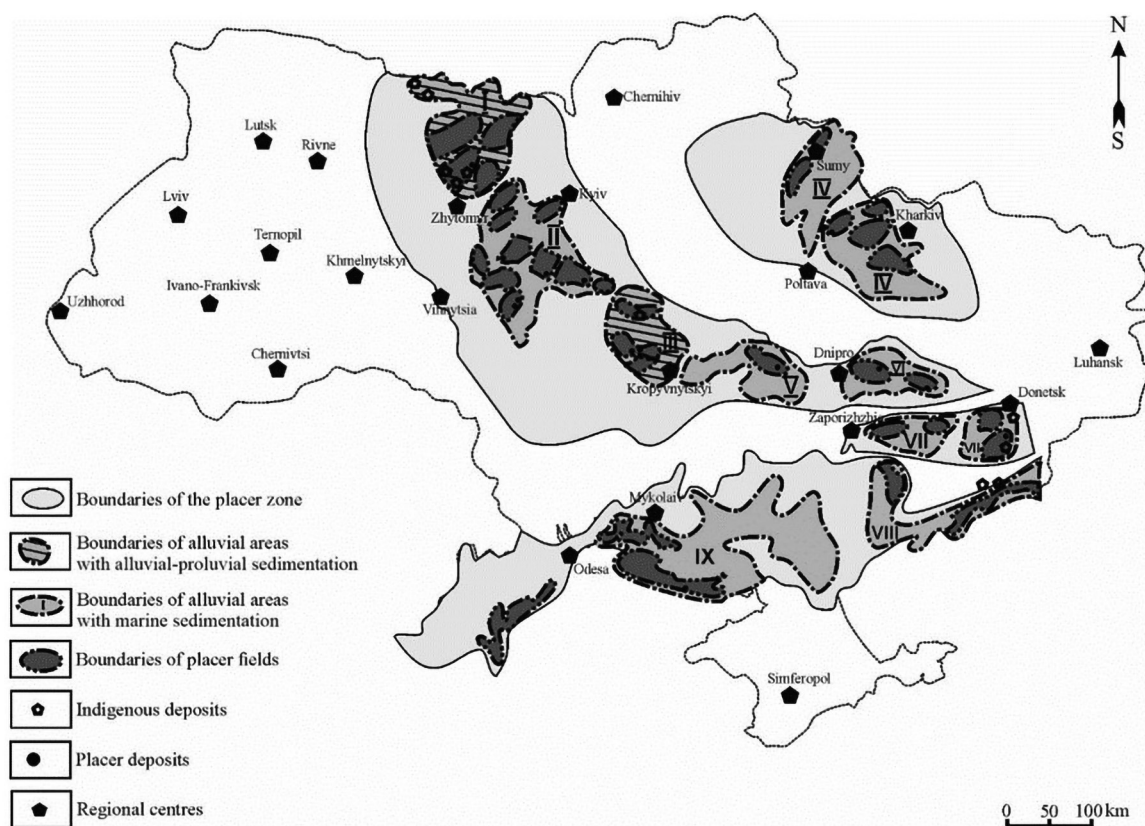
- deposits associated with intrusive gabbroic rocks,
- deposits linked to a gabbro weathered crust, as well as anorthosites and gabbro-anorthosites,
- deposits associated with weathered alkaline rocks and corresponding feldspar-mica metamorphic rocks, deposits formed by alluvial-deluvial placers during the Mesozoic Era and Palaeogene = Neogene periods,

- deposits related to coastal-marine (lateral) placers of the Novi Petrivtsi Formation and Sarmatian strata,
- deposits that formed modern alluvial and marine placers.

This geological diversity of deposits makes the Ukrainian titanium province a significant region for the extraction and processing of titanium resources.

Currently, over 200 deposits and occurrences of titanium- and iron-bearing minerals, such as ilmenite, leucoxene, titanium-magnetite, siderite, and many others, have been identified in Ukraine. However, in fact, the mineral resource base of titanium in Ukraine is represented by approximately 40 titanium deposits, of which 12 have been explored and commercial production has begun. Currently, titanium ore is mined in Ukraine by the main titanium ore resources concentrated in indigenous deposits, which can be sufficient for a long period of time for titanium ore mining companies to operate. However, there is a problem with the shortage of fresh ilmenite ores, which are mainly associated with the large Stremihorodske and smaller Fedorivske indigenous deposits in Ukraine. The main problem with the development of these deposits is that their exploitation requires significant capital investment to build new mines and processing plants. Placer deposits account for about 10% of all proven reserves [National Atlas ... 2010].

In the past, Ukraine played a crucial role in titanium concentrate production, accounting for 90% of the former Soviet Union's output. The historical maximum of titanium raw materials production in Ukraine was in 2008, when titanium production totalled at least 414 thousand tonnes of  $TiO_2$ . In other words, actual titanium production in Ukraine is 10–15% higher than the estimate by the authoritative US publication Mineral Commodity Summaries (359 kt of  $TiO_2$ ) and almost matches



**Fig. 1.** Schematic map of titanium deposits in Ukraine (based on the map of titanium-zirconium deposits in Ukraine from the atlas 'Geology and Mineral Resources of Ukraine,' 2001).

**Рис. 1.** Схематична карта родовищ титану в Україні (за картою титано-цирконієвих родовищ України з Атласу «Геологія і корисні копалини України», 2001 р.).

the estimates of Ukrainian scientists (365–564 kt of  $\text{TiO}_2$ ) [Mykhailov 2023]. In terms of reserves/annual production ratio in 2008 Ukraine became the world leader, significantly outstripping China, Brazil, and India, which follow it. Unfortunately, over the past 28 years, titanium sponge production in Ukraine has fallen by 50%, and titanium product production has fallen from \$630 million per year to \$350 million per year over the past 15 years [Concept ... 2023]. The Russian aggression against Ukraine has meant that strategic plans for the development of the Ukrainian titanium industry have been postponed until better times. However, despite the hostilities, Ukrainian titanium assets remain an attractive investment target. Analysts believe that titanium may become one of the elements of the foundation for Ukraine's post-war recovery.

The main value of titanium deposits lies in the presence of rare metal impurities such as vanadium, scandium, rutile, niobium, tantalum, tin, tungsten, gallium, thorium, etc., which are sometimes even more valuable than titanium or iron itself.

One of the main needs for rare earth elements is the production of electronic devices and components for the renewal and development of information technology. The amount of elements required can reach several hundred tons per year.

The use of rare earth metals in renewable green energy, such as niobium for the production of superconductors in wind turbines or neodymium for permanent magnets in solar panel generators, is key to stabilising the energy sector. In the restoration of medical infrastructure and the development of biotechnology, rare earths are used to produce magnetic resonators, lasers, and new materials for medical implants.

The development of the automotive industry and the production of electric vehicles use rare earth metals, in particular lithium and niobium, whose performance is important for the production of lightweight, energy-efficient batteries. Rare earth elements are used in the production of catalysts for the chemical industry, which is an important element for maintaining the production of chemicals and industrial processes.

This article does not discuss the associated valuable minerals of titanium ores, such as apatite or radioactive elements, but they are the target of further research in this area.

The objective of the research was to justify the real and extensive integration of new chemical elements, such as valuable impurities in titanium and iron ores, vanadium, scandium, tantalum-niobates, etc., into the post-war industrial production in Ukraine. Scientific research in the field of advanced technologies and materials science in Ukraine is actively contributing to the search for new methods of rare earth elements' extraction and use. This opens up new prospects for the development of high-tech industries such as electronics, solar energy, and medical equipment. Worldwide, the extraction of these resources significantly increased, but they remained unused in Ukrainian deposits. The assessment of the value of rare and scattered elements in Ukraine was conducted by scientists and producers, and reserves of these resources were partially calculated at deposits where they had not been utilised so far<sup>1</sup> [Borisenko 1957; Grinchenko 2006]. The demand for these resources in Ukraine was met through imports from Russia. Therefore, for the accelerated post-war development of Ukraine's resource base in new conditions, it is necessary to restructure industrial production by implementing comprehensive and zero-waste extraction of rare earth and scattered minerals. It is also crucial to employ advanced technologies for extracting titanomagnetite ores in the Korosten pluton, Stremigory and Torchin massifs, as well as Neogene ores of the Kerch region in Crimea and shales of the Menilite Formation in the Carpathians, and partially also iron ores in the Kryvyi Rih iron ore basin (Zhovtorichinsk raion), and so forth.

---

<sup>1</sup> Proskurin, G. P. *et al.* 1981. Stremihorodsk deposit of apatite-ilmenite ores. *Ukrainian Territorial Geological Fund*. Kyiv, 1–311. [Russian]; Shvayberov, S. K. 2002. Exploration of apatite-ilmenite ores of the Fedorivske deposit. *Ukrainian Territorial Geological Fund*. Kyiv, 1: 1–268. [Ukrainian]; Yarovoy, V. D. 2003. Recalculation of current reserves of sands of the Sarmatian Stage of the Malyshevsk deposit. *Ukrainian Territorial Geological Fund*. Kyiv, 1–1215. [Russian]

The relevance of the article lies in its focus on identifying new sources of useful components in the subsoil of Ukraine, which will give the potential to become a key player in the global rare earth metals market, and will determine new directions for its economic development.

## History of studying valuable impurities in titanium minerals in Ukraine

Research on rare earth and scattered elements, their formation conditions, and the impact of geological-geochemical processes in the Earth's crust has been of interest to prominent scientists such as Vernadsky [2012], Fersman [1947], and Goldschmidt [1937]. Ukrainian geologists have studied these valuable elements as impurities in titanium minerals under both primary conditions and placers. In Ukraine, they were considered as impurities in titanium minerals, mainly described as new mineralogical discoveries. Thematic research is mainly reflected in production geological reports, articles, and scientific literature on the geology of titanium minerals<sup>2</sup> [Belevtsev *et al.* 1974; Bochai *et al.* 1998; Tyshchenko 2006].

The first practical steps towards developing Ukraine's raw material base were taken during survey work on the Dobrynsky and Hladkovsky titanium ore deposits in 1934–1935 [Pedan 1935; Piontkovsky 1935]. These works identified an elevated vanadium content in titanium minerals in the Hativskiy and Dobrynsky areas of Zhytomyr Oblast, estimated reserves of TiO<sub>2</sub>, and V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, which had industrial significance. In subsequent years and up to the present, in the process of deeper exploration and development of titanium ores, geological practitioners and scientists from the National Academy of Sciences of Ukraine (Institute of Geological Sciences, M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation, etc.) continue to study titanium ores, discovering various valuable impurities such as scandium, tantalum, niobium, thorium, tungsten, hafnium, tin, and others. These efforts marked the beginning of practical steps in expanding Ukraine's raw material base through the extraction of rare and scattered elements [National ... 2011].

A significant contribution is the research of M. P. Semenenko<sup>3</sup>, who first summarised knowledge about the presence of beryllium, niobium, and tantalum in crystalline rock of the Ukrainian Carpathians. Special attention was given to their high stability in aggressive environments, determining their wide use in the chemical industry, metallurgy, rocket technology, and medicine.

V. G. Gevorkyan's work [Gevorkyan 1964; 2004], carried out in 1964 and 2002, is devoted to the study of rare elements found in ilmenite from the northern coast of the Sea of Azov. In these papers he notes that the ilmenite and ore concentrate contain a lot of niobium, tantalum, and rare earths. Gevorkyan emphasises that both ilmenite and its ore concentrate contain significant enrichments of niobium, tantalum and rare earth elements. These concentrations exceed typical levels in most samples, with Nb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reaching 6900 g/t, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 430 g/t, and rare earth elements (REE) 6400 g/t. The author provides a detailed geochemical analysis of waste and ilmenite concentrate from different deposits to better understand the technological possibilities of integrated processing. It was also emphasised that the ultimate goal should be the extraction of high-value mineral resources, including rare and scattered elements.

The monograph by Shnyukov *et al.* [2009] provides a characterisation of the geological study of vanadium, its sources of concentration, mineralogical-geochemical features, and types of industrial deposits and ore occurrences. The monograph particularly focuses on the concentration of vanadium in sedimentary rocks, including iron ores, bedded phosphorites, natural bitumens, the oil and gas condensate zone, organic products of humification, and adsorption in primary solutions in clays and sandstones. The research also shows the results of studying the vanadium in the Lviv–Volyn coal basin and uranium-vanadium-scandium metasomatic rocks of the Kryvyi Rih iron ore basin. The

<sup>2</sup> Vykhodtsev, M. K. 2007. Assessment of the prospects of titanium-zirconium placers of the northeastern slope of the Ukrainian Shield. *Fonds of Geological Survey Trust*, 1: 1–259. [Ukrainian].

<sup>3</sup> Semenenko, N. P. et al. 1975. Geochemistry of beryllium, niobium and titanium in metasomatites of the USH (final report). *Ukrainian Territorial Geological Fund*. Kyiv, 1–218. [Russian].

monograph emphasises that the main source of vanadium extraction at present is titanomagnetites, magnetites, and some other iron minerals identified in the Ukrainian Shield and its slopes in complex titanium-vanadium deposits of the Korosten (Stremihorodske, Torchynske, and Zlobychivske deposits, etc.) and Korsun-Novomirhorod plutons (Nosachivske deposit). It is noted in the study that the industry in Ukraine does not extract vanadium from its own mineral raw materials, although the technological scheme for obtaining vanadium from Neogene ores of the Kerch region (Crimea, Ukraine) was developed in 1931. Under modern conditions, the extraction of vanadium impurities under these conditions requires the development of new unconventional technologies for cost-effective by-product or direct extraction.

The issue of studying and developing valuable impurities in ores has been the focus of Ukraine's geological service for the past 50 years, but the question remains open.

## Material and Methods

In this study, the foundational information was derived from the results of prospecting and geological surveying conducted by the State Service of Geology and Mineral Resources of Ukraine (had different names in the past) from 1934 to the present day. A thorough analysis was carried out regarding the composition of titanium ore minerals, specifically rare-metal valuable impurities, as well as the overall results of prospecting, mineralogical and chemical composition, and reserve calculations of titanium-containing deposits in Ukraine. Special attention was given to the analysis of the chemical composition of ilmenite, rutile, zirconium concentrates in the original ores, and other titanium-containing minerals, including valuable impurities of rare-earth elements in Cretaceous, Palaeogene–Neogene, and Quaternary placer accumulations. The analysis included the percentage and grams per ton content of  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , and other trace elements in rocks and ores identified in the provinces of the Korosten and Korsun-Novomirhorod plutons in deposits and areas. We first collected the increased elevated concentrations of isomorphic impurities of vanadium, zirconium, niobium, tantalum, hafnium, scandium, cobalt, etc. Based on the unpublished survey reports we present for the first time to the wide public the presence of indium (average content of 0.0055%) and gallium (0.0033%) in ilmenite of the Korosten pluton with vanadium content ranging from 0.21 to 0.33 g/t and scandium from 63 to 100 g/t<sup>4</sup>.

## Formation of rare and disseminated elements

The formation of rare and disseminated elements in titanium ore deposits in Ukraine is associated with the origin of these ore minerals from magmatic processes and tectonic events in the substrate, which included various chemical elements such as iron, aluminum, scandium, tantalum, niobium, hafnium, tungsten, tin, gold, and others. During the weathering of these magmatic sources and the alteration of minerals under the influence of factors such as weathering, valuable mineral concentrations were formed, creating extensive placers on the Earth's surface, especially in zones of geological formation processing from various geological periods [Ramdor 1962]. Under the influence of exogenous processes, minerals transitioned into kaolinite, montmorillonite, beidellite, but resistant minerals such as ilmenite, rutile, zircon, staurolite, sillimanite, disthene, quartz remained unchanged, persisting as fine disseminated particles in the moving mass of weathered crust rocks [Lazarenko 1971; Kulish 2005].

Ilmenite (titaniferous iron ore) and its leucoxene-altered varieties serve as the primary carriers of rare and disseminated elements, including impurities of varying concentrations of vanadium, scandium, tantalum, hafnium, and other elements. Regional weathering horizons formed during the Jurassic and Cretaceous periods became key areas for the formation of titanium placers (see Fig. 1).

---

<sup>4</sup> Irshansky mining and processing plant. 1974. Report on geological exploration works carried out by Irshansky GOK in 1972 and 1973. Irshansk, *Ukrainian Territorial Geological Fund*, 66. [Russian].

The Korosten pluton is an important source of rare and scattered elements in Ukraine. Its geological structure and characteristics make it an object of interest for scientific research and industrial production, given the development of modern technologies and the growing demand for these valuable resources. The Korosten pluton is located in the central part of Ukraine, mainly in Zhytomyr and Kyiv oblasts. This geological object is important from the point of view of rare and scattered elements (REEs) extraction.

The Paromivske alluvial ilmenite deposit is an important resource in Ukraine that plays a key role in the production of iron, steel and titanium dioxide. The geological structure and structural-geological position of the Paromivske deposit are described and illustrated in [Yaremenko 2016.]. Its further development contributes not only to the region's economy but also provides the necessary raw materials for the country's industry and technological development.

According to the data of O. M. Bazaliyska<sup>5</sup>, obtained during the exploration of the Paromivsky placer deposit of ilmenite in the Mesozoic–Cenozoic deposits and weathering crusts of the basic rocks of the Korosten pluton intrusive complex, the following chemical composition was determined (Table 1).

Valuable components in ilmenite include Sc and V, with V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> content in ilmenite ranging from 0.24 to 0.28%. The industrial content of scandium in ilmenite is 30–50 g/t (0.003–0.005%) (Table 2).

In Table 3, the chemical composition of ilmenite from the Korosten pluton and titanium-zirconium placer deposits is presented, based on the data of Vykhdotsev *et al.* (report, 2007), who also provided a positive assessment of the prospects of titanium-zirconium placers on the northeast slope of the Ukrainian Shield.

**Table 1. Chemical composition of the Paromivske placer deposit (in %) (from report of Bazaliyska<sup>5</sup>)**

**Таблиця 1. Хімічний склад Паромівського розсипного родовища (у %) (виробничий звіт, Базалійська<sup>5</sup>)**

Deposit	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	FeO	MnO	CaO <sub>5</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Paromivske	0.61– 1.29	50.96	0.20– 0.49	0.20– 0.49	6.62– 14.25	24.8– 35.56	0.53– 0.64	0.05– 0.06	0.28– 0.52	0.07– 0.08	0.57– 0.09	0.034– 0.082	0.021– 0.029	0.24– 0.28

**Table 2. Reserves of V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and Sc in ilmenite and zircon in alluvial ores of the Paromivsky placer deposit of ilmenite (C<sub>2</sub> category) (from report of Bazaliyska<sup>5</sup>)**

**Таблиця 2. Запаси V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> і Sc в ільменіті та цирконі в розсипних рудах Паромівського родовища ільменіту (категорія C<sub>2</sub>) (виробничий звіт, Базалійська<sup>5</sup>)**

Category of TiO <sub>2</sub> component	Ilmenite reserves (in tonnes)	Average content			Inventories (in tonnes)		
		V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , t	Sc, gr/t	Zr, kg/m <sup>3</sup>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Sc	Zr
Aluvium B+C <sub>1</sub>	801376	0.293	94.4	0.64	2348	no data	no data
Weathering crusts B+C <sub>1</sub>	1760762	0.257	84.8		4525	no data	no data
Total	2562138				6873	no data	no data

**Table 3. Chemical Composition of ilmenite from the Korosten pluton and titanium-zirconium placer deposits (in %) (from report Vykhdotsev<sup>2</sup>)**

**Таблиця 3. Хімічний склад ільменіту з Коростенського плутону та титано-цирконієвих розсипів (у виробничий звіт, Виходцев<sup>2</sup>)**

Deposit	TiO <sub>2</sub>	FeO	MnO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Korosten pluton	50.2	42.5	0.55	0.82	0.38	0.03	0.20
Tarasivske placer	64.2	27.5	0.014	traces	2.1	0.10	0.18
Zelenoyarske placer	69.7	27.3	0.37	1.08	0.23	0.42	0.21

According to Mazurenko [2009], after enrichment of two samples of titanium-zircon sands from the Tarasivske deposit, the following significant impurities were found: in rutile: 0.145% Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0.013% Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, total rare-earth elements—0.01%, 0.25% V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; in ilmenite: V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 0.018–0.83%, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:

<sup>5</sup> Bazaliyska, L. M. *et al.* 2016. Exploration of the Paromivske alluvial ilmenite deposit. *Ukrainian Territorial Geological Fund*. Kyiv. 3: 259. [Ukrainian]

0.015%, total rare-earth elements—0.041%; in zircon: 1.17% Hf, 0.15% V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, total rare-earth elements—0.43%.

Other elements, presented as associated impurities, include Mn, Pb, Sb, Mi, Cr, Sn, Mo, Cu, and Co.

The chemical composition of ilmenite in titanium-zirconium deposits refers to the elemental makeup and structure of the ilmenite mineral found within these deposits. Understanding the chemical composition is crucial for assessing the potential economic value of the deposit and for designing effective extraction and processing methods. The table below shows the chemical composition of ilmenite in the titanium-zirconium deposits of the Korosten pluton (Table 4).

**Table 4. Chemical composition of ilmenite in titanium-zirconium deposits (in %) (from report, Mazurenko, 2009)**

**Таблиця 4. Хімічний склад ільменіту в титано-цирконієвих родовищах (у %) (виробничий звіт, Мазуренко, 2009)**

Placer deposits	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	CaO <sub>5</sub>	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ZrO <sub>2</sub>
Samotkanske	0.34	68.2	1.1	26.5	–	1.19	0.09	0.02	0.09	0.17	0.24	–
Vovchanske	–	63.4	2.0	29.0	1.0	0.83	0.26	–	0.06	1.35	0.25	–
Tarasivske	1.1	64.2	2.1	26.8	0.46	0.014	traces	traces	traces	0.1	0.18	–
Zelenoyarske	0.97	62.0	1.67	28.08	–	0.76	0.36	0.33	0.14	0.75	0.21	0.08

As seen from Tables 1–4, the comparison of the chemical composition of ilmenite in the gabbroids of the Korosten pluton and the placers indicates a significant similarity in chemical composition. However, analyses of bulk ilmenite samples from the placers differ markedly, showing higher contents of TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and lower iron content.

For example, in the Stremihorovske deposit (Zhytomyr Oblast), 90% of TiO<sub>2</sub> production comes from ilmenite. This deposit is located in gabbros, diabases, pyroxenites, and syenitic pegmatites, widely represented in weathering crusts, coastal-marine, and continental placers. Leucoxenised ilmenites include over 20 different elements, including rare, scattered, and rare-earth elements, the total content of which can reach 30 kg/t or even more [Proskurin *et al.* 1974]. Studies of conducted by V. H. Gevorkyan (2002) identified rare metals Co, V, Zn, Hf, Nb, Sn, Th, Sc, V, Zn, and Ga as impurities, as well as a significant amount of Ni, Cr, Cu, Pb, Ag, and Zn. Leucoxenised ilmenites tend to accumulate more impurities [Baranov 1961; Ramdor 1962; Gevorkyan 1964, 2002].

In addition to magmatic deposits associated with titanomagnetite ores containing rare and scattered elements, various types of epigenetic concentrations of these impurities exist in Ukraine. They are located in different age sedimentary rocks: Kimmerian iron ores, coals, bauxites, vanadium placers, limestones, red-colored and mottled formations, copper- and uranium-bearing sandstones, solid bitumens, etc. According to published reports [e.g. Kholodov 1968, 1973; Shnyukov 1977, 2008; Balance ... 2014], the largest vanadium reserves are found in sedimentary iron ores, exceeding the vanadium content in placers of titanium minerals several times. Unfortunately, the extraction of this valuable material, which plays a crucial role in the industry of many countries has not been carried out to date.

## Conclusion

Our research has identified three significant sources of rare earth elements in Ukraine. The first source is primary deposits of apatite-ilmenite ores located in gabbroic rocks. The second source is exogenous deposits formed as a result of rock weathering. The third source is complex deposits of ilmenite-rutile and ilmenite-zircon placers.

In the post-war period, Ukraine's mining industry is preparing to use modern, integrated and waste-free technologies for the extraction of valuable mineral resources, and for this purpose it is important to use raw materials and beneficiation products in a comprehensive manner in the extraction and further processing of concentrates and associated rocks, such as clay, peat, sands, including quartz, lignite, apatite and others. Efficient use of mineral resources and maximising the extraction of

valuable products should be aimed not only at generating economic benefits, but also at preserving the environment and preventing its pollution by industrial waste.

Given that Ukraine primarily focuses on the development of titanium and iron ore deposits, which include rare and scattered elements, and the latter are not extracted (which is not economically viable), Ukraine should reconsider its approach to extracting vanadium and other minor elements from iron ores, bauxites, oil shales, phosphorites, various uranium deposits. To achieve this, detailed geological and geochemical studies of all identified sources and accumulators of valuable mineral impurities in Ukraine are required, including ilmenite concentrates and production waste.

Ukraine has large deposits of high-quality local raw materials. Using its scientific and production potential, as well as investment support from geopolitical partners, Ukraine is able to meet the demand for valuable elements by developing complex deposits for both domestic and international markets. In addition, it is necessary to continue to search for new methods of identifying sources of rare and scattered elements, and to explore alternative approaches to their extraction and use.

## Declarations

**Funding.** The research was carried out at the Institute of Geological Sciences NAS of Ukraine, project ‘Scientific substantiation of the expansion of the mineral resource base of critical raw materials of Ukraine (titanium, rare and noble metals)’ (code 6541030, fundamental research).

**Conflict of interest.** The authors have no conflict of interest related to the content of this article.

## References

- Baranov, N. I. & V. H. Gevorkyan. 1961. Ilmenite and its alteration products from the sedimentary strata of the Azov region. *Mineralogy digest*, 1: 40–48. [Russian]
- Belevtsev, L. N., G. I. Kalyaev, L. S. Galetsky, [et al.] 1974. *Metallogeny of Ukraine and Moldavia*. Naukova Dumka, Kyiv, 1–511. [Russian]
- Bochai, A. V., D. S. Gursky, et al. 1998. *Mineral Resources of Ukraine*. Kyiv, 1–273. [Russian]
- Borisenko, L. F. 1957. To the geochemistry of scandium. *Proceedings of the Institute of Geochemistry and Geochemistry of the USSR Academy of Sciences*, 1: 78. [Russian]
- Concept... 2020. Concept of development of strategic industries of Ukraine. *Ukrainian Institute for the Future*, 40. [Ukrainian]
- Fersman, A. 1947. *Interesting geochemistry. Chemistry of the Earth*. Amfora, Moscow, 1–461. [Russian]
- Geology 2001. *Geology and mineral resources of Ukraine. Atlas*. Eds. L. Galetskyi. Such Affairs, Kyiv, 1–168. [Ukrainian]
- Gevorkyan, V. H. 1964. Some data on small elements of ilmenite and leucoxene from the sedimentary strata of the Northern part of the Sea of Azov. *Reports of the Academy of Sciences of the USSR*, 9 12–21. [Ukrainian]
- Gevorkyan, V. H. 2002. Ilmenite, a complex raw material for obtaining rare and diffuse elements. *Geological Journal (Ukraine)*, 1: 100–111. [Russian]
- Goldchmidt, V. M. 1937. The Principles of Distribution of Chemical Elements in Minerals and Rocks. *Jorn. Chemical Soc.*, 74 (9): 655–673.
- Grinchenko, O. V., M. V. Kurylo, V. A. Mikhailov, et al. 2006. *Metal minerals of Ukraine*. Kyiv University Publishing Centre, Kyiv, 1–217. [Ukrainian]
- Gurskiy, D. S., K.Y. Esipchuk, V. I. Kalinin, [et al.] 2006. *Metallic and NonMetallic Minerals of Ukraine. Volume I. Metallic Minerals*. Kyiv-Lviv: Center of Europe, 1–785. [Ukrainian]
- Kholodov, V. N. 1973. Sedimentary ore genesis and vanadium metallogeny. Nauka, Moscow, 1–261 [Russian]
- Kulich, E. A., I. E. Esipchuk, N. I. Lebed et al. 2005. *Metallic minerals: Titan*. Tsentr Europe, Kyiv, 1–739. [Russian]
- Lazarenko, E. K. 1971. *Course of Mineralogy*. Vysshaya Shkola, Moscow, 1–607. [Russian]
- Mykhailov, V. A. [et al.] 2023. *Strategic minerals of Ukraine and their investment attractiveness: monograph*. BRGM-Orleans, France, 1–293.
- National 2007. *National Atlas of Ukraine of the National Academy of Sciences of Ukraine*. Rudenko, L. G. (ed.). Cartography, Kyiv, 1–435. [Russian]
- National 2011. Programme of for the development of the mineral resource base of Ukraine for the period up to 2030. *Law of Ukraine of 21 April, 2011*. [Ukrainian]
- Ramdor, P. 1962. *Ore minerals and their comparison*. Foreign literature publishers, Moscow, 1–1132. [Russian]
- Shnyukov, E. F. 2008. *Minerals and the World*. Kyiv, 1–521. [Russian]
- Shnyukov, E. F., G. N. Kulish, V. B. Orlovskiy, [et al.] 2009. *Vanadium in rocks and ores of Ukraine*. Kyiv, 1–216. [Russian]
- Vernadsky, V. 2012. *Vernadsky's selected scientific works: scientific edition. Works on geochemistry and radiology*. Book 1. Sobotovych, E. V. (Ed.). *Institute of Environmental Geochemistry*, Kyiv, 7: 1–824. [Russian]

# Fault dislocations as fluid barriers of hydrocarbon deposits near salt domes in the Dnipro-Donets Depression, Ukraine

Andrey Yakovlev<sup>1</sup>, Iryna Samchuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup> LLC 'NVF GERA LTD' (Kharkiv, Ukraine)

<sup>2</sup> V. N. Karazin Kharkiv National University (Kharkiv, Ukraine)

## article info

### key words

Dnipro-Donets Depression, Devonian salt diapirs, Hydrocarbon deposits, Anticlinal structures, Fluid seals, Tectonite formations.

### correspondence to

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

Email: [fedot-ira@ukr.net](mailto:fedot-ira@ukr.net);

orcid: 0000-0002-8117-6117

### article history

Submitted: 26.06.2024. Revised: 30.06.2024. Accepted: 30.06.2024

### cite as

Yakovlev, A., I. Samchuk. 2024. Fault dislocations as fluid barriers of hydrocarbon deposits near salt domes in the Dnipro-Donets Depression, Ukraine. *GEO&BIO*, 26: 104–112. [In Ukrainian, with English summary]

## abstract

Within the Dnipro-Donets aulacogen, Devonian salt stocks (diapirs) are widely developed. The suprastock, interstock, and nearstock areas associated with these diapirs have consistently drawn the interest of researchers in the Dnipro-Donets Depression for hydrocarbon exploration. Uprastock and interstock areas, primarily associated with anticlinal structures, have been the primary targets for exploration. Numerous significant hydrocarbon accumulations, including large and unique deposits, have been discovered in these structures. These deposits are classified as bedded, massive-bedded, and dome-shaped, with lithological or tectonic confinement. Sealing rocks are the Permian chemogenic sedimentary succession or clay-rich rocks at various stratigraphic levels of the overlying rocks. Modern seismic methods effectively identify, outline, refine, and prepare such structures for drilling, with a geological success rate of approximately 0.6. Nearstock areas encompass parts of salt-dome structures with unique characteristics resulting from salt diapirism. These areas often feature hydrocarbon traps only a few hundred meters wide, characterized by low seismic reliability due to salt-induced wavefield distortions and complex structures. The geological success rate for hydrocarbon exploration in these challenging conditions is approximately 0.12. Four main types of hydrocarbon traps are identified in nearstock areas: reefal deposits in the Upper Pennsylvanian Araukarytova Formation and the Early Permian Slovians'k Formation; dikes in the Upper Pennsylvanian and Lower Permian sedimentary rocks; tectonic satellite blocks including Serpukhovian, Bashkirian, and Upper Pennsylvanian rocks; and carbonate banks in the Lower Permian deposits. Nearstock traps are confined by salt stocks or by radial faults and salt filling radial fractures. Caps include salt diapir overhangs and Lower Permian chemogenic rocks. In the absence of robust fluid seals, nearstock traps often prove empty, likely due to poor sealing properties at the salt diapir-collector contact. Despite this, nearstock hydrocarbon sedimentary rocks with pre-Cenozoic salt formation are found in various Dnipro-Donets Depression regions.

© 2024 The Author(s); Published by the National Museum of Natural History, NAS of Ukraine on behalf of GEO&BIO. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Licence (CC BY-SA 4.0), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

# Диз'юнктивні порушення як флюїдоупори покладів вуглеводнів приштокових блоків Дніпровсько-Донецької западини (Україна)

Андрій Яковлев, Ірина Самчук

**Резюме.** В межах Дніпровсько-Донецького авлакогену поширені штоки девонської солі, які викликають значний інтерес в контексті досліджень покладів вуглеводнів. У статті розглянуто надштокові, міжштокові та приштокові ділянки, пов'язані з соляними діапірами, як потенційні об'єкти для пошуків вуглеводнів. Надштокові та міжштокові ділянки, переважно антиклінальні структури, були основними об'єктами пошукових робіт. На таких структурах виявлено значні промислові поклади вуглеводнів, зокрема великі родовища, такі як Шебелинське та Західно-Хрестищенське. Поклади вуглеводнів цих структур класифікуються як пластові та масивно-пластові. Сучасні методи сейсмічних досліджень дозволяють легко виявляти та оконтурювати ці структури. Приштокові ділянки, які характеризуються складною будовою і спотворенням сейсмічного поля, мають низький коефіцієнт геологічного успіху (~0,12). Вони поділяються на чотири основні типи пасток, залежно від геологічних умов. Флюїдоупори таких пасток можуть бути різні, включно з козирками соляних діапів та хомогенні породи нижньої пермі. Дослідження показали, що екрануючі властивості скидів забезпечуються їхнім генезисом і заповненням. Тектоніти, які формуються при переміщенні блоків, мають високу флюїдоупорну здатність. Приштокові ділянки поділяються на дві групи: з інтенсивним тектоногенезом і численними блоками-пастками, та з більш спокійним тектоногенезом і меншою кількістю блоків. Приклади успішних пошуків вуглеводнів в приштокових ділянках зазначених типів наведені для Карайкозівського та Синівського діапів. У цих родовищах виявлено високопродуктивні поклади вуглеводнів, тоді як ділянки без флюїдоупорів залишаються непродуктивними. Спокійні тектонічні умови, як на Пісочанському діяпірі, також можуть забезпечувати наявність покладів вуглеводнів. Стаття демонструє важливість диз'юнктивних порушень-флюїдоупорів для утворення покладів вуглеводнів в приштокових умовах. Рекомендується зосереджувати пошуково-розвідувальні роботи на ділянках, де продуктивні стратиграфічні комплекси перекриваються такими порушеннями. Це дозволяє зменшити вплив соляного масиву на сейсмічний запис і точно прогнозувати розповсюдження покладів.

Ключові слова: Дніпровсько-Донецька западина, девонські соляні штоки, поклади вуглеводнів, приштокові ділянки, флюїдоупори, тектонічно екрановані пастки.

Адреса для зв'язку: Ірина Самчук; Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна; майдан Свободи 4, Харків, 61022 Україна; Email: fedot-ira@ukr.net; orcid: 0000-0002-8117-6117

## Вступ

В межах Дніпровсько-Донецького авлакогену широко розвинені штоки (діапіри) девонської солі. Пов'язані з діапірами надштокові, міжштокові та приштокові ділянки перманентно викликають зацікавленість дослідників Дніпровсько-Донецькою западиною (ДДЗ) для пошуків покладів вуглеводнів. Вуглеводневі ресурси регіону відіграють важливу роль в енергетичній незалежності України, що підвищує актуальність досліджень геологічних структур, пов'язаних з діапірами. Пошук і розробка вуглеводневих родовищ у цих областях сприяє покращенню енергетичної безпеки та економічного розвитку країни. Застосування сучасних методів сейсмічних досліджень дозволяє ефективно виявляти, оконтурювати та готувати до буріння майже всі типи структур, за виключенням структур розташованих у приштокових блоках, про які і йтиметься у статті.

Різноманітні методи, включаючи буріння, використовуються для визначення і підтвердження наявності вуглеводнів у приштокових ділянках. Вивчення таких ділянок дозволяє краще зрозуміти геологічні процеси, що призводять до утворення вуглеводневих покладів, а також вдосконалити методи їх виявлення та розробки. Дослідження, проведені на родовищах, таких як Розпашнівське, Чутівське, Новоукраїнське, Західно-Хрестищенське, Карайкозівське, Червоноярське тощо, підтверджують значний потенціал цих структур для виявлення нових покладів вуглеводнів.

Метою роботи є дослідження геологічних умов формування та особливостей будови приштокових структур Дніпровсько-Донецької западини, а також визначення їхнього можливого потенціалу для виявлення і розробки вуглеводневих покладів. Задачі дослідження: визначення розломів, які сприяють утворенню вуглеводневих покладів та окреслення можливого потенціалу приштокових структур для накопичення вуглеводнів.

## Стан розробки питання

Надштокові та міжштокові ділянки, до яких в основному приурочені антиклінальні структури, були першочерговими об'єктами пошукових робіт. На структурах такого типу відкрито значну кількість промислових скупчень вуглеводнів, в тому числі крупні і унікальні за запасами (Шебелинське, Західно-Хрестищенське, Єфремівське, Кегичівське, Мелихівське, Яблунівське та ін.) [Samchuk 2022]. За типом, поклади надштокових та міжштокових ділянок належать до пластових, масивно-пластових, склепінних, з літологічним або тектонічним обмеженням. Флюїдоупорами слугують породи хомогенної товщі пермської системи або глинисті відклади на різних стратиграфічних рівнях перекриваючих порід. Сучасними методами сейсмічних досліджень структури такого типу достатньо легко виявити, оконтурити, уточнити та підготувати до буріння [Samchuk 2022]. Структури в основному характеризуються високим коефіцієнтом геологічного успіху до  $\sim 0,6$  [Parkhomovsky & Kuznetsova 1985].

До приштокових ділянок відносяться окремі частини солянокупольних структур з найбільш яскраво вираженими унікальними рисами будови, зумовленими впливом процесів соляного діапїризму. Ширина приштокових блоків-пасток вуглеводнів часто не перевищує декількох сотень метрів. Приштокові ділянки характеризуються низькою достовірністю результатів сейсмічних досліджень, через спотворення сіллю хвильового поля та доволі складною будовою [Visochansky *et al.* 2022]. В силу їхньої складної та слабко передбачуваної будови, ймовірність геологічного успіху пошуків покладів вуглеводнів (ВВ) в подібних геологічних умовах не висока, коефіцієнт геологічного успіху  $\sim 0,12$  [Istomin *et al.* 1987]. Виділяється чотири основних типа пасток ВВ у приштокових ділянках: шлейфові у відкладах араукаризової (верхній карбон) та слов'янської світ (нижня перм); задири у відкладах нижньої частини пермської та верхньої частини кам'яновугільної систем; тектонічні блоки-сателіти, що охоплюють серпухівські, башкирські та верхньокам'яновугільні відклади; карбонатні банки у відкладах нижньої пермі [Visochansky *et al.* 2022].

За здійсненням пластів приштокові пастки обмежені козирками або ніжною соляних штоків, а на флангах — радіальними до штоку порушеннями або сіллю штоків у разі, коли вона заповнює радіальні розриви, утворюючи своєрідні затоки. Покришками можуть бути козирки соляних діапїрів і хомогенні породи нижньої пермі.

У разі відсутності «козиркової солі» або інших потужних витриманих пластів-флюїдоупорів, приштокові пастки тектонічно екранованого або напівантиклінально типу, часто виявляються порожні (наприклад Бригадирівський, Валківський, Колонтаївський діапїри північної прибортової зони та Позняківський, Ісачківський, Ромоданівський діапїри південної прибортової зони). Основною причиною цього явища, скоріш за все, є слабкі екрануючі властивості контакту соляного діапїру та пласта-колектора.

На відміну від зазначених прикладів, в різних районах ДДЗ, також в аналогічних «безкозиркових» умовах, виявлені приштокові поклади, із заляганням солі у докайнозойських відкладах. Зокрема поклади такого типу в північній прибортовій зоні ДДЗ у нижньокам'яновугільному та верхньодевонському комплексі відкриті в приштокових блоках Карайкозівського та Синівського діапїрів, а в приосьовій — Пісочанському діапїрі [Visochansky *et al.* 2022]. Аналіз структурно-тектонічної будови свідчить про те, що виявлені поклади відносяться до пластового, тектонічно-екранованого типу, а покришками слугують скиди амплітудою  $\sim 50\text{--}600$  м, що латерально перекривають пастки.

Гіпсометрично вище від скидів-флюїдоупорів, кількість покладів різко зменшується і вони вже стають локально-обмеженими, тектонічно або літологічно екранованими на периферії, без контактування з соляними діапірами. Часто пастки, що розташовані над такого роду скидами-флюїдоупорами, взагалі не вмішують скупчень вуглеводнів [Visochansky *et al.* 2022].

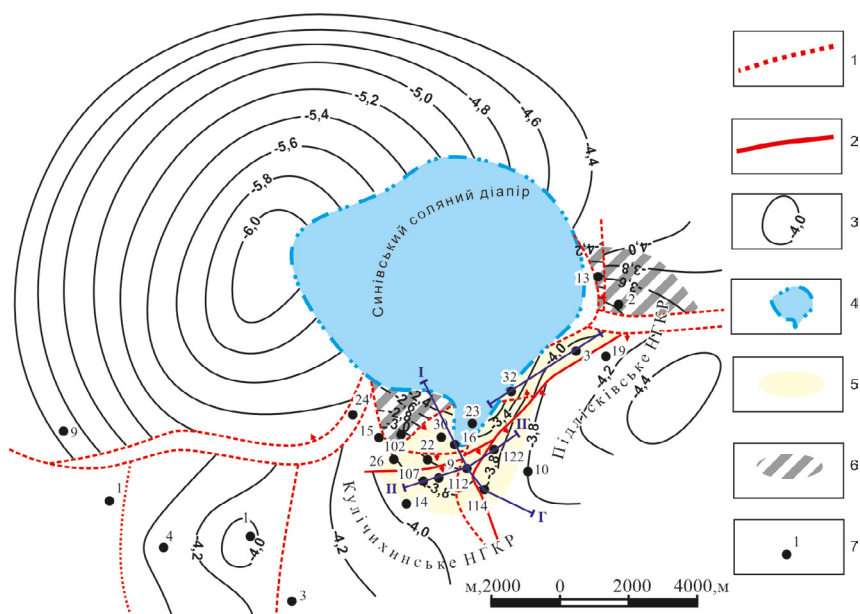
Скиди-флюїдоупори можуть падати як в напрямку від соляного діапіру в бік занурення структур, тобто відносяться до згідного типу, так і навпаки — в протилежному напрямку від занурення та відноситися до незгідного типу. Основним критерієм екранування є латеральне та повне перекриття потенційної пастки в плані.

## Викладення основного матеріалу

Екрануючі властивості скиду забезпечуються деякими особливостями їхнього генезису та заповнення ділянки «зіяння» площини скидача. Під час переміщення блоків на площині скидача формуються так звані тектоніти, з достатньою для екранування покладів флюїдоупорною здатністю (проникність від 10÷15 до 20 м<sup>2</sup>) [Kharchenko & Maslyuk 2015], що за класифікацією А. А. Ханіна відносяться до груп від С до А (середня–дуже висока). На ділянці контакту диз'юнктиву зі штоком не виключається заповнення скидача кам'яною сіллю, що підвищує його екрануючі властивості.

Умовно приштокові ділянки можна поділити на два типи: ті, що сформувалися за рахунок інтенсивного прояву соляного тектоногенезу зі значною кількістю окремих диз'юнктивних порушень та тектонічно екранованих блоків-пасток, та ті, що сформувалися в більш спокійному тектоногенезі в основному з плікативними формами залягання та невеликою кількістю окремих блоків-пасток.

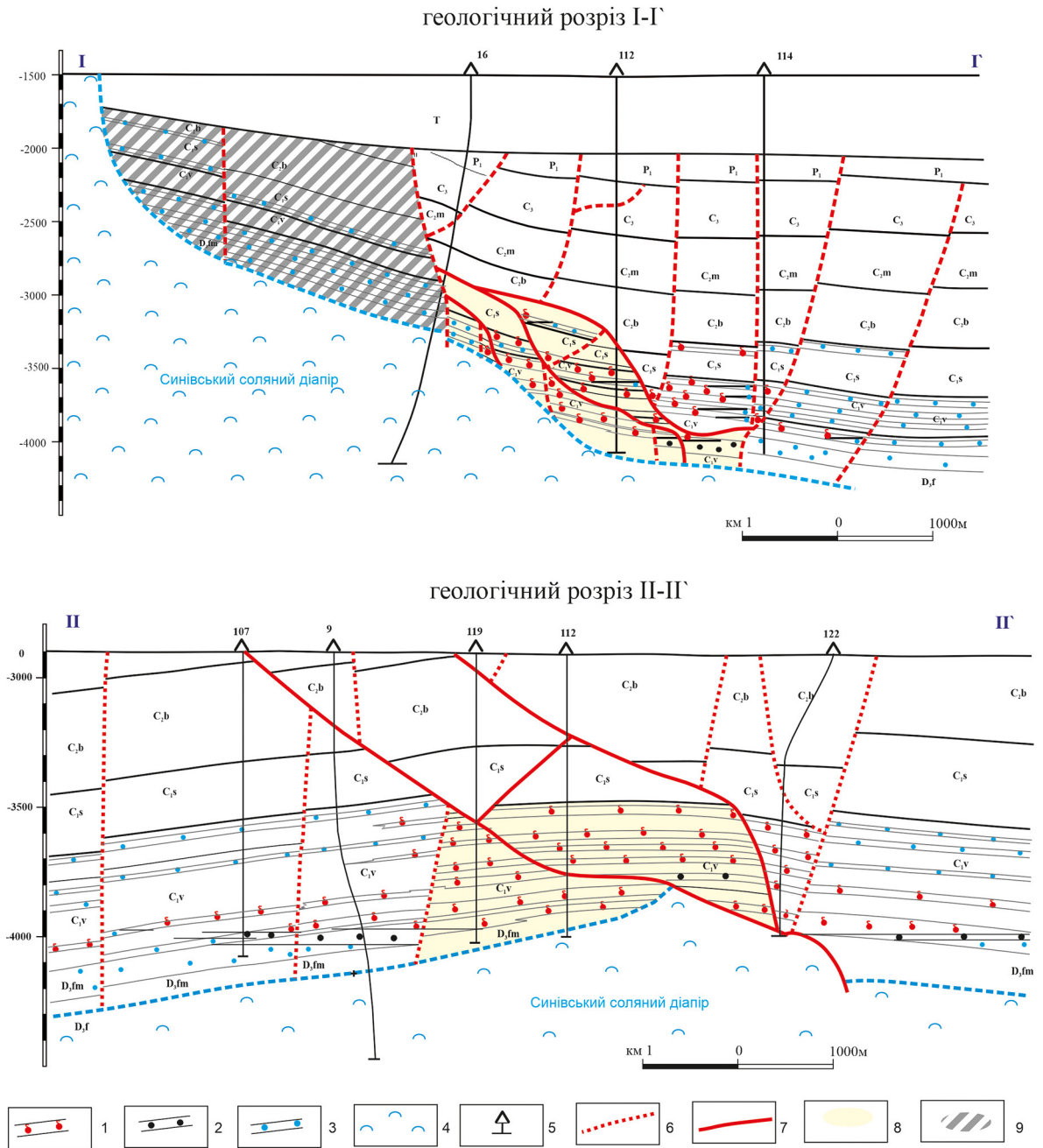
Прикладом збереження покладів за рахунок «скидів-флюїдоупорів», з інтенсивним тектоногенезом є приштокові родовища вуглеводнів Карайкозівське, Підлісківське та Куличихинське, приурочених відповідно до Карайкозівського та Синівського діапірів. Приштокові ділянки цих родовищ зазнали суттєвого впливу з боку соляних діапірів. Бурінням та сейморозвідувальними роботами виявлено досить густу та високоамплітудну сітку диз'юнктивів, як згідного так і незгідного типів.



**Рис. 1.** Синівський соляний діапір Куличихинського нафто-газоконденсатного родовища (структурна карта відкладів візейського ярусу). Позначення: 1 — скиди-екрани пасток ВВ; 2 — скиди-флюїдоупори; 3 — ізогіпси відкладів візейського ярусу; 4 — межі соляного штоку; 5 — продуктивні блоки, перекриті скидами-флюїдоупорами; 6 — непродуктивні блоки, не перекриті скидами-флюїдоупорами 7 — свердловина.

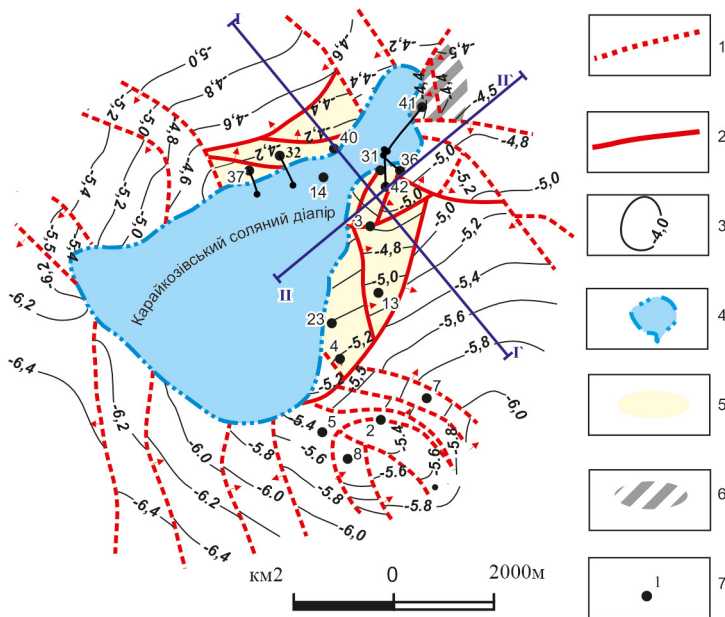
that are screens of hydrocarbon traps; 2 — faults that are fluid barriers; 3 — isolines of Visean deposits; 4 — boundaries of the salt stock; 5 — productive blocks covered by fault fluid barriers; 6 — non-productive blocks not covered by fault fluid barriers; 7 — well.

В тектонічних блоках Синівського діяпіру (рис. 1, 2), що перекриті скидами-флюїдоупорами виявлені, розвідані та давно експлуатуються високопродуктивні поклади вуглеводнів. І навпаки, в блоках, що не «перекриваються» в плані скидами подібного типу, покладів ВВ не виявлено.



**Рис. 2.** Геологічні розрізи Куличихинського нафто-газоконденсатного родовища. Позначення: 1 — газ; 2 — нафта; 3 — вода; 4 — сіль; 5 — свердловина; 6 — скиди-екрани пасток вуглеводнів; 7 — скиди-флюїдоупори; 8 — продуктивні блоки, перекриті скидами-флюїдоупорами; 9 — не продуктивні блоки не перекриті скидами-флюїдоупорами.

**Fig. 2.** Geological sections of the Kulychykhynsky oil and gas condensate deposit. Legend: 1 — gas; 2 — oil; 3 — water; 4 — salt; 5 — well; 6 — discharges shielding hydrocarbon traps; 7 — fluid barriers; 8 — productive blocks covered by fluid barriers; 9 — non-productive blocks not covered by fluid barriers.



**Рис. 3.** Карайкозівський соляний діяпір Карайкозівського нафто-газоконденсатного родовища (структурна карта відкладів візейського ярусу). Позначення: 1 — скиди-екрани пасток ВВ; 2 — скиди-флюїдоупори; 3 — ізогіпси відкладів візейського ярусу; 4 — межі соляного штоку; 5 — продуктивні блоки, перекриті скидами-флюїдоупорами; 6 — не продуктивні блоки, що не перекриті скидами-флюїдоупорами; 7 — свердловина.

**Fig. 3.** Karaykoziv salt diapir of the Karaykoziv oil and gas deposit (structural map of Visean deposits). Legend: 1 — hydrocarbon trap discharge screens; 2 — fluid barriers; 3 — isolines of Visean deposits; 4 — boundaries of the salt plug; 5 — productive blocks covered by fluid barriers; 6 — non-productive blocks not covered by fluid barriers; 7 — well.

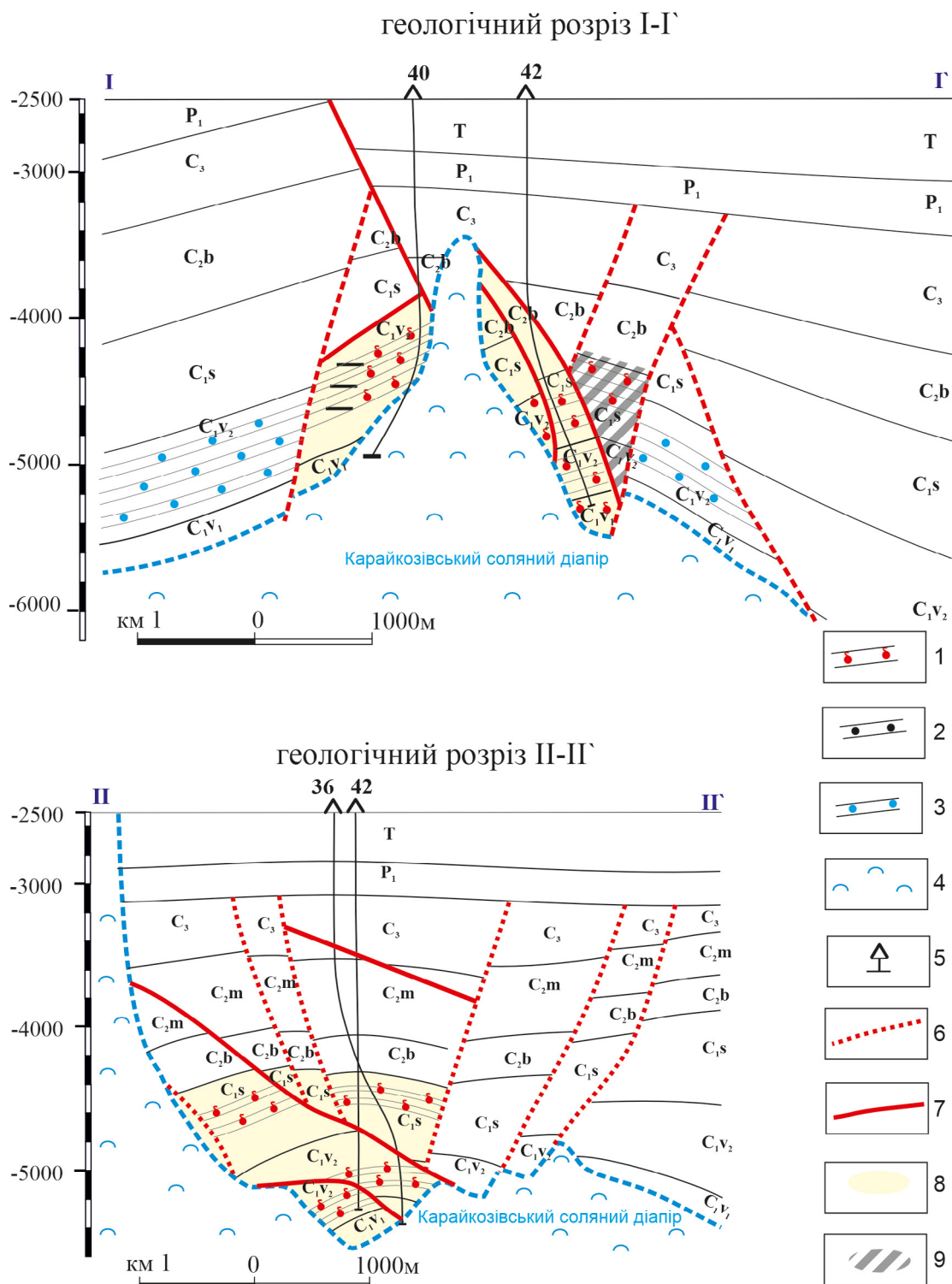
3 — isolines of Visean deposits; 4 — boundaries of the salt plug; 5 — productive blocks covered by fluid barriers; 6 — non-productive blocks not covered by fluid barriers; 7 — well.

Поклади перекриті скидами-флюїдоупорами на Куличихинському нафто-газоконденсатному родовищі виявлені в пластах фаменського ярусу верхньодевонського відділу та верхньовізейському під'ярусі нижньокам'яновугільного відділу. Поклади фаменського ярусу приурочені до піщаних пластів колекторів з ефективною товщиною від 5 до 30 м, пористістю до 26–28% (граничне значення 8%) при проникності  $1 \div 1200 \times 10^{-15} \text{ м}^2$ . Початкові дебіти газу досягали 100–200 тис.  $\text{м}^3/\text{добу}$ , а початкові запаси окремих блоків складають 200–600 млн  $\text{м}^3$ . У непродуктивних пастках, що не перекриваються скидами-флюїдоупорами водоносні породи-колектори характеризуються ідентичними, високими фільтраційно-емнісними характеристиками (Неф — 20–26 м, пористість — 15–20%). Тобто можна констатувати, що саме через відсутність скиду-флюїдоупору вуглеводні у цих пастках не затримувалися.

Аналогічна ситуація відмічається і для піщаних пластів-колекторів візейського ярусу. Наприклад, горизонт В-20. В пастках, що вміщують поклади ВВ, та в непродуктивних пастках пористість складає 10–21% (граничне значення 8,5%), ефективна товщина — 2–10 м, пласт характеризується витриманістю по латералі, літологічно ущільнення або заміщення не зафіксовано. Початкові дебіти газу досягали 500 тис.  $\text{м}^3/\text{добу}$ . Схожою геологічною будовою властиво і Підлісківському нафто-газоконденсатному родовищі.

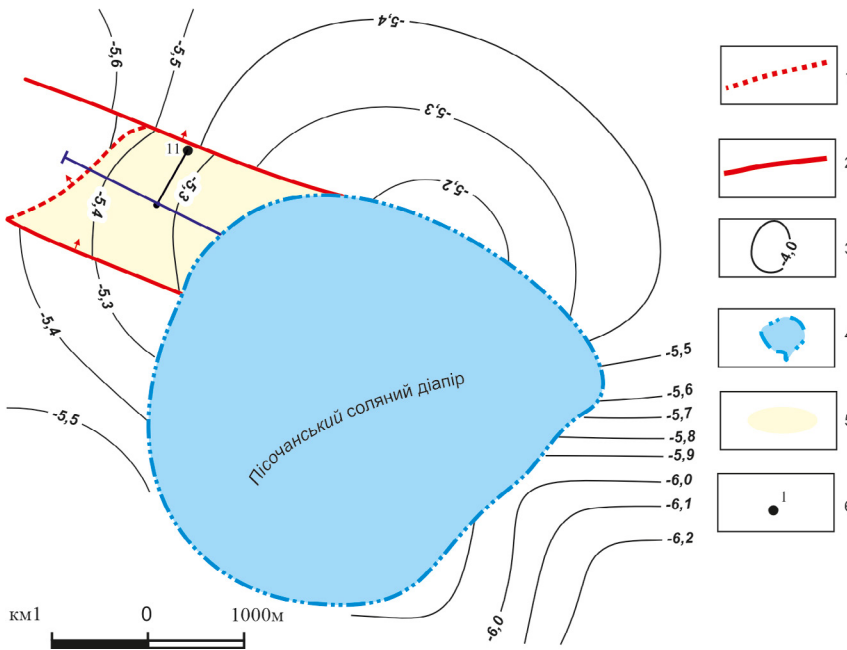
На Карайкозівському родовищі (рис. 3–4) в східній та західній приштокових ділянках встановлено порядку 20 високопродуктивних покладів у відкладах візейського та серпухівського ярусів. А на ділянці блоку свердловини № 41, що не перекритий в плані скидами-флюїдоупорами, виявлено тільки два невеликих поклади вірогідно літологічно екранованого типу без контактування зі стінкою штоку. Породи-колектори візейського ярусу (В-14 ÷ В-24–25) представлені пісковиками з високими колекторськими властивостями. Пористість окремих пластів від 9 до 17% (граничне значення — 7%), ефективна товщина 3–21 м, початкові дебіти газу склали 200–350 тис.  $\text{м}^3/\text{добу}$ . А початкові розвідані запаси газу деяких покладів перевищують 1000 млн  $\text{м}^3$ .

При цьому найбільш продуктивні пласти-колектори достатньо добре розповсюджені по латералі (без суттєвих ущільнень та заміщень) та мають витримані колекторські властивості. Породи-колектори серпухівського ярусу також достатньо добре витримані по площі.



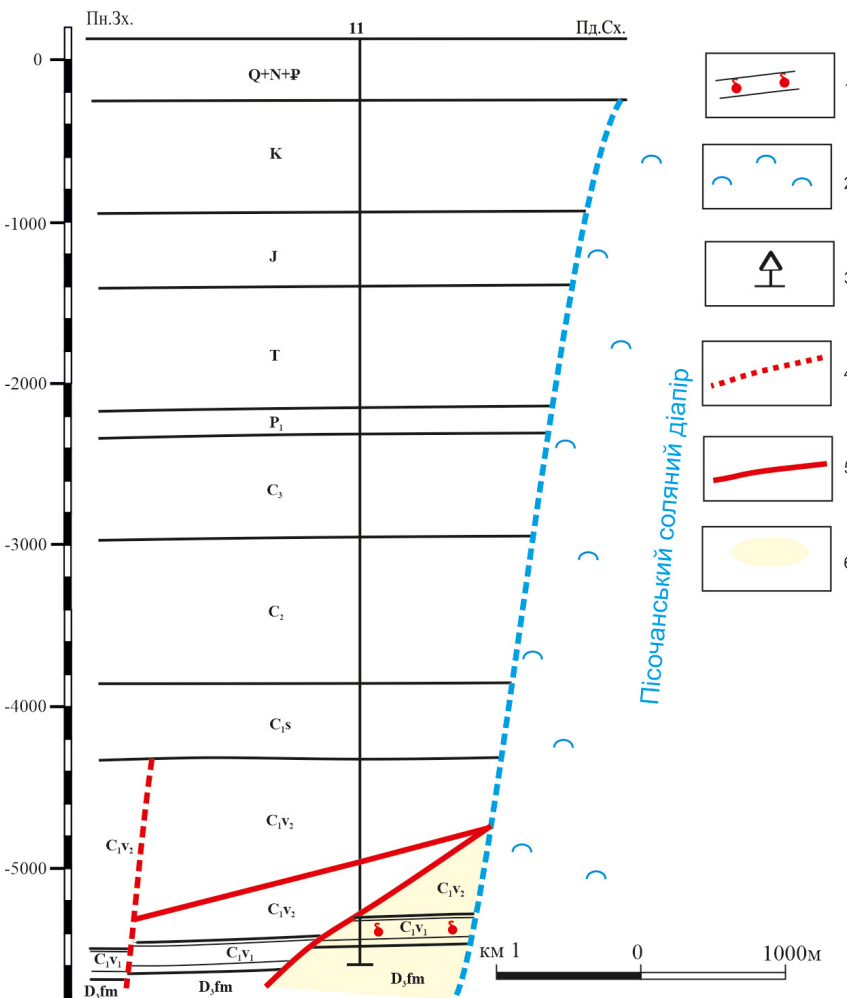
**Рис. 4.** Геологічні розрізи Карайкозівського нафто-газоконденсатного родовища. Позначення: 1 — газ; 2 — нафта; 3 — вода; 4 — сіль; 5 — свердловина; 6 — скиди-екрани пасток вуглеводнів; 7 — скиди-флюїдоупори; 8 — продуктивні блоки, перекриті скидами-флюїдоупорами; 9 — не продуктивні блоки, не перекриті скидами-флюїдоупорами.

**Fig 4.** Geological sections of the Karaykoziv oil and gas deposit. Legend: 1 — gas; 2 — oil; 3 — water; 4 — salt; 5 — well; 6 — hydrocarbon trap discharge screens; 7 — fluid barriers; 8 — productive blocks covered by fluid barriers; 9 — non-productive blocks not covered by fluid barriers.



**Рис. 5.** Пісочанський соляний діяпір (структурна карта відкладів візейського ярусу). Позначення: 1 — скиди-екрани пасток ВВ; 2 — скиди-флюїдоупори; 3 — ізогіпси відкладів візейського ярусу; 4 — межі соляного штоку; 5 — продуктивні блоки, перекриті скидами-флюїдоупорами; 6 — свердловина.

**Fig. 5.** Pisochansky salt diapir (structural map of Visean deposits). Legend: 1 — hydrocarbon trap discharge screens; 2 — fluid barriers; 3 — isolines of the salt plug; 4 — boundaries of the salt plug; 5 — productive blocks covered by fluid barriers; 6 — well.



**Рис. 6.** Пісочанський соляний діяпір. Геологічний розріз. Позначення: 1 — газ; 2 — сіль; 3 — свердловина; 4 — скиди-екрани пасток вуглеводнів; 5 — скиди-флюїдоупори; 6 — продуктивні блоки, перекриті скидами-флюїдоупорами.

**Fig. 6.** Pisochansky salt diapir. Geological section. Legend: 1 — gas; 2 — salt; 3 — well; 4 — hydrocarbon trap discharge screens; 5 — fluid barriers; 6 — productive blocks covered by fluid barriers.

Пористість складає 9–14 % (граничне значення — 8,5 %), ефективна товщина 2–14 м. Початкові дебіти газу досягали 300 тис. м<sup>3</sup>/добу, нафти — 43 м<sup>3</sup>/добу.

Ілюстрацією достатньо спокійних тектонічних приштокових умов, де виявлено поклади, що контактують з безкозирковим штоком та екрануються тектонічним порушенням, є Пісочанський діапир (рис. 5–6). Поклад горизонту В-21–22 перекривається затокоподібним скидом. Амплітуда скиду незначна (~50–100 м). Це свідчить про те, що і малоамплітудні скиди забезпечують достатньо високі екрануючі властивості для збереження покладів вуглеводнів. Горизонт В-21–22 складений пісковиком з пористістю 7–9 % (граничне значення — 6,5%), ефективною товщиною 19 м. При випробування отримано ~20 тис. м<sup>3</sup>/добу.

## Висновки

Наведені результати досліджень показують значну важливість структурних та тектонічних факторів у формуванні покладів вуглеводнів у приштокових умовах Дніпровсько-Донецької западини. Головним фактором утворення продуктивних пасток є наявність диз'юнктивних порушень, що виконують функцію флюїдоупорів. Ці порушення відіграють ключову роль у герметизації пасток.

Приклади, що були висвітлені у статті дозволяють прослідкувати закономірності формування скупчень вуглеводнів в приштокових безкозиркових умовах. Одним із критеріїв утворення покладів ВВ є наявність над пастками диз'юнктивних порушень-флюїдоупорів. Як наслідок, при однакових пасткових умовах, першочергово для пошуково-розвідувального буріння рекомендується приділяти увагу ділянкам, де продуктивні стратиграфічні комплекси перекриваються диз'юнктивними порушеннями — флюїдоупорами. Подібні диз'юнктиви часто трасуються від штоків на значні відстані, що забезпечує зменшення впливу соляного масиву на сейсмічний запис та, як наслідок, дозволяє достатньо впевнено виявляти та прогнозувати їхне розповсюдження.

## Декларації

Фінансування виконано в рамках власної ініціативи авторів поза плановими бюджетними темами і грантами.

Конфлікт інтересів. Автори не мають жодних конфліктів інтересів, які могли вплинути на зміст статті.

## References

- Istomin, A. N., N. F. Brynza, T. S. Tsupilo, M. G. Ulyanov. 1987. Methodology for gas trap exploration in near-diapir zones of the Dnipro-Donets Basin. *Geology of Oil and Gas*, 3: 1–101. [Russian]
- Kharchenko, N. V., A. A. Maslyuk. 2015. On the screening properties of tectonic faults. *Geological Journal*, 3: 44–50. [Russian] <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2015.3.139341>
- Parkhomovsky, O. A., T. B. Kuznetsova. 1985. Dependence of exploration success on structural dimensions in the Dnipro-Donets Basin. *Oil and Gas Industry*, 2: 9–11. [Russian]
- Samchuk, I. 2022. The development of ideas on and prospects of oil and gas capacity of the south-eastern part of the Dnipro-Donets Depression. *GEO&BIO*, 23: 77–86. [Ukrainian] <https://doi.org/10.15407/gb2307>
- Visochansky, I. V., A. O. Yakovlev, I. M. Samchuk. 2022. Conditions for the formation of non-anticlinal hydrocarbon traps in near-diapir zones of the southeastern Dnipro-Donets Depression. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series Geology. Geography. Ecology*, 56: 24–48. [Ukrainian] <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-02>

# Ontomorphogenesis of *Chamaecytisus podolicus* (Fabaceae) and state of local populations in Ukraine

Lyudmila Lyubinska<sup>1</sup>, Myroslav Shevera<sup>2</sup>, Viktoria Velychko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kamianets-Podilskyi Ivan Ohienko National University (Kamianets-Podilskyi, Ukraine)

<sup>2</sup> M. G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

## article info

### key words

population, ontomorphogenesis period, ontomorphogenesis state, *Chamaecytisus podolicus*, locus classicus, Ukraine

### correspondence to

Myroslav Shevera; M. G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine, 2 Tereshchenkivska Street, Kyiv, 01004 Ukraine; Email: shevera.myroslav@ukr.net; orcid: 0000-0002-1178-0458

### article history

Submitted: 08.06.2024. Revised: 22.06.2024. Accepted: 30.06.2024

### cite as

Lyubinska, L., M. Shevera, V. Velychko. 2024. Ontomorphogenesis of *Chamaecytisus podolicus* (Fabaceae) and state of local populations in Ukraine. *GEO&BIO*, 26: 113–120. [Ukrainian, with English summary]

## abstract

*Chamaecytisus podolicus* (Błocki) Klask. (Fabaceae) is a rare Podolian endemic species, known from Ukraine and Moldova. The species is listed in the Red Data Book of Ukraine with the conservation status ‘vulnerable’ and is also included in international documents. According to the classification of life forms by Raunkier, the species is woody chamaephyte, according to the classification of types of biomorphs by Serebryakov belongs to the division of woody plants, type semi-woody shrub with a developed above-ground and underground shoot system. Plants of the species grow on limestone-rocky, meadow-steppe slopes, karst depressions, noted in the group association *Festucion valesiacaе* Klika 1931 of the class *Festuco–Brometea* Br.-Bl. et Tx. ex Soó 1947. The results of studies of the state of a local populations of *Ch. podolicus* in natural condition, in particular in locus classicus of the species (Probabyn, Ivano-Frankivsk Oblast and Kadubivtsi, Chernivtsi Oblast, Ukraine) and in culture (Botanical Garden of the Podolian Agro-Technical University, Kamianets-Podilskyi, Khmelnytskyi Oblast) carried out in 2013–2023 are presented. The ontogenetic states and ontogenetic structure of the species are determined. For the first time for the species, four ontogenetic periods (latent, pregenerative, generative, and postgenerative) and 10 ontogenetic states of plants (seeds; seedlings; juvenile, immature, virginal, generative (g1–g3), subsenile, and senile) of *Ch. podolicus* are described. Plants of the studied species do not form underground shoots (xylorhizomes), which is why it differs primarily from *Ch. albus* (Hacq.) Rothm. in terms of features of ontomorphogenesis. It was established that the density of different age individuals of the species in the vicinity of the village of Probabyn consists from single and small groups (15–18 each) to 30 ind./m<sup>2</sup>, and in the vicinity of the village of Kadubivtsi from single plants and groups up to 47–52 ind./m<sup>2</sup>. It was established that the studied local populations of the species are characterised, in general, by complete age composition. The ontogenetic age spectra of the species are left-skewed.

© 2024 The author(s); Published by the National Museum of Natural History, NAS of Ukraine on behalf of GEO&BIO. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY-SA 4.0), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

# Онторморфогенез *Chamaecytisus podolicus* (Fabaceae) та стан локальних популяцій в Україні

Людмила Любінська, Мирослав Шевера, Вікторія Величко

**Резюме.** *Chamaecytisus podolicus* (Błocki) Klásk. (Fabaceae) — рідкісний подільський ендемічний вид, поширений в Україні та Молдові; занесений до «Червоної книги України з природоохоронним статусом «вразливий» та міжнародних природоохоронних документів. За класифікацією життєвих форм К. Раункієра, вид — дерев'янистий хамефіт, за класифікацією типів біоморф І. Серебрякова належить до відділу деревні рослини, типу — напівдерев'янистий чагарник із розвинутою надземною та підземною пагоновою системою. Рослини виду ростуть на вапняково-кам'янистих, лучно-степових схилах, карстових западинах, відмічені в угрупованнях союзу *Festucion valesiacaе* Klika 1931 класу *Festuco-Brometea* Br.-Bl. et Tx. ex Soó 1947. Представлені результати дослідження стану локальних популяцій *Ch. podolicus* в природних умовах, зокрема в *locus classicus* виду (с. Пробабин Івано-Франківської області та с. Кадубівці Чернівецької області, Україна) та в умовах культури (Ботанічний сад Подільського аграрно-технічного університету, м. Кам'янець-Подільський Хмельницької області), проведені у 2013–2023 рр. Уперше для виду досліджено онторморфогенез, визначені його онтогенетичні стани та онтогенетична структура. Вперше для виду описано чотири онтогенетичні періоди (латентний, прегенеративний, генеративний та постгенеративний) та 10 онтогенетичних станів особин *Ch. podolicus* (насіння; проростки; ювенільний, іматурний, віргінільний, генеративний (g1–g3), субсенільний та сенільний). Встановлено, що у рослин дослідженого виду не утворюються підземні пагони (ксилоризоми), чим за особливостями онторморфогенезу він передусім відрізняється від близького *Ch. albus* (Nacq.) Rothm. Встановлено щільність різновікових особин дослідженого виду: в околицях с. Пробабин зафіксовано від поодиноких або невеликих груп (по 15–18) до 30 особин/м<sup>2</sup>, в околицях с. Кадубівці — від поодиноких чи груп до 47–52/м<sup>2</sup>. З'ясовано, що досліджені локальні популяції виду мають повночленний онтогенетичний склад; онтогенетичні спектри виду — лівобічні. Ключові слова: популяції, онтогенетичні періоди, онтогенетичні стани, *Chamaecytisus podolicus*, *locus classicus*, Ukraine.

Адреса для зв'язку: Мирослав Шевера, Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України, вул. Терещенківська, 2, Київ, 01004; Email: shevera.myroslav@ukr.net; orcid: 0000-0002-1178-0458

## Вступ

Збереження та відтворення у природному стані та ефективна охорона рідкісних видів рослин, зокрема й тих, які включені до «Червоної книги України» та знаходяться під охороною світових та європейських природоохоронних документів, можливе на підставі комплексних знань, передусім про біологію виду та стан його популяцій, а також характер поширення та еколого-фітоценотичну приуроченість тощо.

Продовжуючи вивчення рідкісних видів роду *Chamaecytisus* Link (Fabaceae) флори України [Lyubinska & Shevera 2013], тут представлені результати дослідження онторморфогенезу зіноваті подільської — *Ch. podolicus* (Błocki) Klásk.

Вид належить до секції *Chamaecytisus* роду *Chamaecytisus*, яка об'єднує види з головчастим типом суцвіттям; раніше розглядався у складі циклу *Aulonix* (Raf.) V. Krecz. роду *Cytisus* L. [Visyulina 1954]. Описаний з території України [Krytska et al. 1999].

За класифікацією життєвих форм К. Раункієра *Ch. podolicus* — дерев'янистий хамефіт, за класифікацією типів біоморф І. Серебрякова належить до відділу деревні рослини, типу — напівдерев'янистий чагарник із розвинутою надземною та підземною пагоновою системою. Це декоративна, медоносна, фітомеліоративна; світлолюбна, посухостійка, морозостійка (посередньо) рослина.

Вид поширений з території України [Shevera et al. 2009] та Молдови [Pinzaru et al. 2002]; рідкісний подільський ендемічний вид, який занесено до «Червоної книги України» з природоохоронним статусом «вразливий», а також включений до міжнародних природоохоронних документів, зокрема Додатку II Бернської конвенції, Світовий та Європейський міжнародні та регіональні червоні списки [Shevera et al. 2009]. Охороняється на території Природного

заповідника «Медобори», Національного природного парку «Подільські Товтри», заказника загальнодержавного значення «Жижавський» (Тернопільська обл.), у пам'ятках природи загальнодержавного значення «Урочище Сокіл» та «Касова Гора» (Івано-Франківська обл.) [Shevera *et al.* 2009]. Рослини виду ростуть на вапняково-кам'янистих, лучно-степових схилах, карстових западинах [Visyulina 1954; Shevera *et al.* 2009], відмічені в угрупованнях союзу *Festucion valesiacae* Klika 1931 класу *Festuco-Brometea* Br.-Bl. et Tx. ex Soó 1947 [Shevera *et al.* 2009].

У літературі відсутні відомості щодо біології виду та стану його популяцій, як у природі, так і в культурі, де він зрідка вирощується в Україні (Національний ботанічний сад імені М. М. Гришка НАН України, Донецький ботанічний сад НАН України, Державний дендрологічний парк «Олександрія» НАН України, Кам'янець-Подільський ботанічний сад) [Shevera *et al.* 2009; Kalashnikova & Doroshenko 2020] та Польщі [Skawińska *et al.* 2017], що не дозволяє у повній мірі розробити та запровадити ефективні заходи його охорони. Тому, метою нашого дослідження було з'ясування сучасного стану популяцій *Ch. podolicus* в Україні шляхом вивчення його онтоморфогенезу та виявлення онтогенетичної структури популяцій.

## Матеріал та методи дослідження

Об'єктом спеціального популяційного дослідження було обрано *Ch. podolicus*. В основу роботи покладені матеріали польових досліджень, проведених авторами протягом 2012–2023 рр.

Онторморфогенез виду та стан його популяцій досліджували у природних умовах, зокрема в *locus classicus* виду — околиці с. Пробабин (Івано-Франківська обл.) та околиці с. Кадубівці (Чернівецька обл.), та з території Природного заповідника «Медобори» (Тернопільська обл.). Було закладено 5–10 трансект розмірами 1 × 10 м та 2 × 5 м, залежно від розміру конкретних ділянок при суцільному, а при розсіяному (дифузному) зростанні обмеженої кількості добре відокремлених особин проводився повний їхній облік. Морфометричні параметри зрілих генеративних особин з однієї популяції вимірювався у 20–25 особин, а при розсіяному — проводили вимірювання та опис усіх особин популяції.

Під час дослідження природних популяцій, зокрема й на заповідних територіях, враховувалася специфіка роботи з вразливими видами. З насіння, зібраного у природних популяціях виду, було вирощено рослини в умовах культури, в Ботанічному саду Подільського аграрно-технічного університету, м. Кам'янець-Подільський, Хмельницька обл.). Спостереження за ними дозволили отримати більш детальні відомості про перебіг процесів онтоморфогенезу.

Ознаки біоморфи виду встановлювали за методикою Л. О. Жукової та О. В. Смирнової [Serebryakova & Sokolova 1988], онтогенетичну структуру популяцій досліджували за методиками Т. О. Работнова [Rabotnov 1969, 1985] та Ю. А. Злобіна [Zlobyn 2009]. Облік особин проводили на постійній ділянці розміром 10 × 10 м<sup>2</sup>. Рисунки та позначки онтоморфогенезу виду виконані відповідно до «Онтогенетичного атласу рослин» [Zhukova 2007].

## Результати дослідження та їх обговорення

У результаті проведеного дослідження для *Ch. podolicus* вперше було виділено чотири онтогенетичні періоди та описано 10 онтогенетичних станів особин виду. Нижче подаємо їхні узагальнені характеристики, складені на основі вивчення рослин у природних умовах та в культурі.

### I. Латентний період

**Насіння (sm)** *Ch. podolicus* видовжено яйцеподібне або яйцеподібне, 2,2–2,8 мм завдовжки, 1,8–2,0 мм завширшки [Dudik 1979], в умовах культури — ці показники в середньому 2,0–2,5 мм та 2,0 мм, відповідно; насіння вкрите щільною оболонкою світло-коричневого кольору.

Частина насіння (близько 60%) за сприятливих природних умов, зокрема при достатньому забезпеченні вологою, проростає у рік обнасення у липні–серпні, а окремі насінини — в травні–червні наступного року. При пророщуванні насіння в лабораторних умовах (в чашках

Петрі чи у ґрунті) на наступний після обнасінення рік показник проростання складав до 60–75% у разі його скарифікації чи стратифікації.

## II. Прегенеративний період

**Проростки (р)** *Ch. podolicus* у природних умовах з'являються в червні–серпні наступного після обнасінення року; формуються корінець та два сім'ядольні листочки овальної форми. Довжина сім'ядольних листочків до  $1,1 \times 0,8$  см, підсім'ядольного коліна — 0,8–1,3 см, а надсім'ядольного — 0,6–0,9 см. Діаметр стебла та кореня досягає 0,15 см, а довжина кореня — 4,0–4,8 см. Тривалість стану проростка становить півтора–два місяці.

**Ювенільні (j)** особини досягають стадії розвитку в літньо–осінній період. Вони мають два–три зелених трійчастих листки, поверхня яких вкрита малопомітними дрібними волосками. Форма листових пластинок на цій стадії не зовсім характерна для виду. Листочки овально–втягнуті. Ювенільна особина має один прямостоячий (ортотропний) трав'янистий пагін, 4,0–9,2 см заввишки. Тип наростання моноподіальний. Коренева система стрижнева, 2,1–6,5 см завдовжки, слабо розгалужена. Восени надземна частина ювенільної особини відмирає. Бруньки, з яких наступного року розвиватиметься пагін відкритого типу, не мають лусок. Навесні наступного року з'являється моноподіальний пагін із двома–шістьма трійчастими темно–зеленими листками з рідким, але типовим для виду опушенням. Листочок 1,2–1,8 см завдовжки та 0,7–1,3 см завширшки. Діаметр стебла та кореня складає 0,25–0,4 см. У цей час активно продовжують формуватися бічні корені, а біля кореневої шийки з'являються ще й додаткові. Залежно від природних умов тривалість ювенільного стану рослин у природі становить два–чотири роки, в умовах культури цей показник складає один рік. У природних умовах сім'ядольні листочки не виявлено, в умовах культури вони зберігаються впродовж місяця.

У результаті дослідження було встановлено, що на відміну від близького *Ch. albus* (Насц.) Rothm. у рослин якого у цьому стані формуються підземні пагони на яких розташовані бруньки відновлення та додаткові корені, що розміщені майже горизонтально та близько до поверхні ґрунту [Lyubinska & Shevera 2013], у рослин дослідженого нами *Ch. podolicus* як у природі, так і в умовах культури вони не утворюються. Також в цей період формуються кореневі бульбочки, особливості будови яких детально досліджено польськими вченими [Skawińska et al. 2017]. У цьому стані рослини перебувають два–три роки.

Для **іматурних (im)** особин дослідженого *Ch. podolicus*, як і для *Ch. albus* [Lyubinska & Shevera 2013], характерне утворення одного–двох пагонів першого порядку та трьох–шести пагонів другого порядку, а також зміна типу їхнього галуження з моноподіального на симподіальний. Висота досліджених рослин складає 10–28 см, що суттєво менше ніж у *Ch. albus* [Lyubinska & Shevera 2013]. Листки типові для роду трійчасті, листочки типової для виду форми (округло–овальні), 1,8 см завдовжки та 0,8–1,2 см завширшки; черешок листка досягає 0,5–0,8 см завдовжки. Спостерігається процес здерев'яніння нижньої частини надземних пагонів. Чітко виражене здерев'яніння та формування стовбурця, який досягає 0,3–0,6 см завдовжки. Корінь 24–35 см завдовжки, формується до 12–20 бічних коренів. На відміну від *Ch. albus*, досліджений вид, як уже зазначалося, не утворює ксилоризоми.

**Віргінільні (v)** особини дослідженого виду схожі на дорослі рослини, мають три–п'ять надземних основних, здерев'янілих при основі, пагонів і бічні пагони другого–третього порядків. Висота рослин становить 25–34 см, що також суттєво менше ніж у *Ch. albus* [Lyubinska & Shevera 2013]. Формуються один–три головних пагони та 8–18 бічних. Серед них вирізняються генеративні та вегетативні пагони. Кількість листків на пагоні складає 7–28 штук, довжина листочка до 2,6 см, ширина — 1,9–2,1 см. Виявлено призупинення активного росту кореня, його довжина досягає до 48 см; кількість бічних коренів різного порядку становить 25–38 шт. Віргінільний онтогенетичний стан рослин виду може тривати три–п'ять років, що також менше ніж у *Ch. albus* [Lyubinska & Shevera 2013], а в умовах культури — один–два роки.

У рослин наступних станів число та розмір листків не суттєві для ідентифікації кожного з них, тому ці показники не зазначені.

### III. Генеративний період

**Молоді генеративні (g1)** особини виду досягають висоти 32–45 см. Квітки від жовтого до помаранчово-жовтого кольору, в перший рік з'являються на одному–трьох пагонах, у суцвітті формується один–п'ять бутонів, а на всіх пагонах рослини може цвісти до 60 квіток. Відомо, що для рослин виду властиве повторне цвітіння [Visyulina 1954; Shevera *et al.* 2009], але при цьому розвивається менша кількість квіток. Плід — біб, 3,8–4,2 см завдовжки та 0,8–1,2 см завширшки. У зав'язях квіток формується 2–4 насінних зачатки, але не всі вони стають повноцінними насінням. У такому стані рослини перебувають два–чотири роки.

Розсіювання плодів супроводжується специфічним звуком їхнього розкривання; насіння поширюється приблизно на три–чотири метри від рослини.

**Середньовікові генеративні (g2)** особини насінневого походження формують куц 35–52 см заввишки. Рослина має три–чотири пагони-стовбурці, здерев'янілі, яких суттєво, у два–три рази, менше ніж у *Ch. albus* [Lyubinska & Shevera 2013]. Кількість генеративних пагонів 8–24, на яких розвивається до 480 штук квіток; генеративні пагони можуть бути не здерев'янілі або здерев'янілі. Тривалість такого стану становить 8–10 років. Відмічено відмирання головного кореня та окремих бічних корінців.

**Старі генеративні (g3)** рослини виду мають розлогий куц, гілки менших розмірів, ніж у середньовікових. Спостерігається відмирання окремих скелетних гілок. Кількість квіток і плодів на третину менша. Вторинне цвітіння вирізняється наявністю лише 5–8 суцвіть. У такому стані рослина перебуває до 10 років. Виявлено зупинення росту головного кореня і формування значної кількості бічних.

Рослини виду розмножуються генеративно (на насінням), вони ростуть швидко перші три роки, під час плодоношення темпи росту дещо уповільнюються.

### IV. Постгенеративний період

У **субсенільних (ss)** особин *Ch. podolicus*, як і у *Ch. albus* [Lyubinska & Shevera 2013], формуються одиничні вегетативні пагони поточного року, втрачаються пагони другого порядку. Більшість додаткових коренів відмирає. Тривалість стану складає два–три роки.

У **сенільних (s)** рослин виду зберігаються здерев'янілі вегетативні пагони першого порядку, коренева система відмирає. Тривалість цього стану також складає два–три роки.

У результаті проведеного дослідження у природних умовах зростання *Ch. podolicus* встановлено, що аналізовані його локальні популяції мають повночленний онтогенетичний склад, онтогенетичні спектри рослин виду — лівобічні. Узагальнені дані щодо вікової структури популяцій виду в його *locus classicus* (с. Кадубівці Чернівецької обл. та с. Пробабин Івано-Франківської обл.) представлені у таблиці 1 та на рис. 1.

Таблиця 1. Онтогенетична структура популяцій рослин *Chamaecytisus podolicus* (Błocki) Klásk. у с. Кадубівці (Чернівецька обл.) (ліворуч) та с. Пробабин (Івано-Франківська обл.) (праворуч)

Table 1. Ontogenetic structure of *Chamaecytisus podolicus* (Błocki) Klásk. populations in Kadubivtsi (Chernivtsi Oblast) (left) and in Probabyn (Ivano-Frankivsk Oblast) (right)

Онтогенетичний стан	Рік				Усереднений показник
	2015	2016	2019	2020	
J	12 — 12	0 — 0	10 — 10	1 — 1	23 — 23
Im	6 — 6	5 — 5	12 — 9	3 — 3	26 — 23
V	8 — 8	5 — 5	6 — 6	9 — 6	28 — 25
g1	4 — 4	6 — 6	4 — 2	11 — 9	25 — 21
g2	3 — 3	7 — 7	3 — 3	7 — 4	20 — 17
g3	4 — 4	5 — 5	6 — 6	8 — 7	23 — 22
Ss	1 — 1	4 — 4	3 — 3	2 — 2	10 — 10
S	1 — 1	1 — 1	2 — 2	1 — 1	5 — 5



**Рис. 1.** Онтогенетичні стани рослин *Chamaecytisus podolicus* (Błocki) Klásk. Пояснення символів: j — ювенільні, im — іматурні, v — віргінільні, g1 — молоді генеративні особини виду.

**Fig. 1.** Ontogenetic states of plants of *Chamaecytisus podolicus* (Błocki) Klásk. Explanation of symbols: j — juvenile, im—immature, v—virgin, g1—young generative individuals of the species.

Як свідчать дані, в обох вивчених популяціях рослини виду відзначаються загалом подібними або дуже близькими показниками числа особин відповідних онтогенетичних станів; деякі відміни пов'язані з кліматичними та антропогенними умовами. Досліджені популяції виду загалом стабільні.

Результати даних, поданих у таблицях вказують на щільність популяції дослідженого виду та на їхнє відновлення та успішність виживання у період дослідження.

Впродовж досліджуваного періоду щільність різновікових особин *Ch. podolicus* на площі популяції у цілому становила: в околицях с. Пробабин від поодиноких, невеликих груп (по 15–18) до 30 особин/м<sup>2</sup>, а в околицях с. Кадубівці — від поодиноких чи груп до 47–52/м<sup>2</sup>. Також зафіксовано, що у 2016 р., через значну посуху 2015 р., не виявлено проростки та ювенільні особини виду. Помічено й сухі іматурні, віргінільні, молоді генеративні та три частково висохлі генеративні особини рослин, які мали декілька зелених пагонів із листками, але без квітів.

Характеристики рослин *Ch. podolicus* виділених онтогенетичних періодів та онтогенетичних станів загалом близькі до таких у раніше дослідженого *Ch. albus* [Lyubinska & Shevera 2013], але відрізняються відсутністю ксилоризом, різною тривалістю окремих станів та розмірами вегетативних та генеративних органів рослин в кожному з них.

## Висновки

1. У результаті проведеного дослідження вперше для *Chamaecytisus podolicus* встановлено чотири онтогенетичні періоди та описано 10 онтогенетичних станів особин виду.
2. Популяції виду належать до нормального типу, відбувається самопідтримування, представлені усі онтогенетичні стани, в основному переважають генеративні особини.
3. Аналізовані популяції виду, зокрема з locus classicus, загалом мають повночленний онтогенетичний склад (за виключенням 2016 р.), онтогенетичні спектри — лівобічні.
4. Відміни дослідженого виду від *Chamaecytisus albus* стосуються передусім відсутності ксилоризом.

Отримані результати будуть сприяти розумінню біології дослідженого виду та розробці ефективних заходів його збереження в природі.

## Подяки

Автори щиро вдячні анонімним рецензентам за цінні поради при підготовці рукопису статті, а також І. Загороднюку (Національний науково-природничий музей НАН України) за підтримку роботи та М. Рябому за різнобічну допомогу під час проведення досліджень.

## Декларації

Фінансування. Це дослідження було виконано в рамках авторської ініціативи, поза бюджетними чи грантовими темами.

Конфлікт інтересів. Автори не мають жодних конфліктів інтересів, які могли б вплинути на зміст цієї статті.

## References

- Dudik, N. M. 1979. Morphology of leguminous fruits in connection with evolution. *Naukova dumka*, Kyiv. 1–212. [Russian]
- Kalashnikova L. V., Y. V. Doroshenko. 2020. Comprehensive assessment of rare species of Magnoliophyta of the collection of Dendrological Park 'Olexandria'. *Ecological sciences. Science and practical Journal*, 3 (30): 176–181. [Ukrainian] <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.3-30.29>
- Krytska, L. I., S. L. Mosyakin, V. V. Novosad, M. M. Fedoronchuk, O. M. Tsarenko, M. V. Shevera. 1999. Typification of species of vascular plants described from Ukraine: family Fabaceae Lindl. *Ukrainian Botanical Journal*, 56 (6): 606–616. [Ukrainian]
- Lyubinska, L. G., M. V. Shevera. 2013. Ontomorphogenesis of *Chamaecytisus albus* (Hacq.) Rothm. (Fabaceae) and state in the local population in the Chaplya reservate (Podilsky Tovtry National Nature Park). *Ukrainian Botanical Journal*, 70 (4): 538–542. [Ukrainian]
- Pinzaru, P. I., A. G. Negru, T. D. Izverşchi. 2002. *Taxoni rari din flora Republicii Moldova*. Chişinău, 1–148.
- Rabotnov, T. A. 1969. Some questions of the study of coenotic populations. *Bulletin of the Moscow Society of Naturalists. Biology*, 74 (1): 141–149. [Russian]
- Rabotnov, T. A. 1985. *Phytocoenology*. Moscow State University Publishing House, Moscow, 1–292. [Russian]
- Shevera, M. V., L. G. Lyubinska, O. O. Orlov. 2009. *Chamaecytisus podolicus* (Błocki) Klásk. In: Y. P. Didukh. (ed.). *Red Data Book of Ukraine*. Globalkonsalting, Kyiv, 1–459. [Ukrainian]

- Serebryakova, T. I., T. G. Sokolova. (eds). 1988. *Coenopopulations of plants (Essays on population biology)*. Nauka press, Moscow. 1–184. [Russian]
- Skawińska, M., B. Łotocka, T. Ruszkowski, P. Banaszczak, E. Znojek. 2017. Root nodule structure in *Chamaecytisus podolicus*. *Acta Agrobotanica*, **70** (2): 1716. <https://doi.org/10.5586/aa.1716>
- Visyulina, O. D. 1954. Genus *Cytisus* L. In: Zerov, D. K. (ed.). *Flora of Ukrainian SSR. Vol. 6*. Academy of Sciences of Ukr.SSR press, Kyiv, 330–348. [Ukrainian]
- Zhukova, L. A. (ed.). 2007. *Ontogenetic Atlas of Plants: scientific edition. Vol. V*. Mary State University Publishing House, Yoshkar-Ola. 1–372. [Russian]
- Zlobin, Y. A. 2009. *Population Ecology of Plants: Current State, Growth Points*. Universytetska knyha, Sumy. 1–263. [Russian]

# The diversity of fish of Atlantic–Mediterranean origin in marine waters of the Azov–Black Sea basin within the borders of Ukraine

Leonid Manilo

National Museum of Natural History, NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

## article info

### key words

alien fish species, natural and anthropogenic factors, taxonomic richness, Azov-Black Sea basin, Ukraine.

### correspondence to

Leonid Manilo; National Museum of Natural History, NAS of Ukraine, 15 Bohdan Khmelnytsky Street, Kyiv, 01030 Ukraine; Email: [leonid.manilo@gmail.com](mailto:leonid.manilo@gmail.com); orcid: 0000-0002-7143-9470

### article history

Submitted: 24.08.2023. Revised: 02.12.2023. Accepted: 30.12.1923

### cite as

Manilo, L. 2024. The diversity of fish of Atlantic–Mediterranean origin in marine waters of the Azov–Black Sea basin within the borders of Ukraine. *GEO&BIO*, 26: 121–134. [Ukrainian, with English summary]

## abstract

The article is a continuation of a series of our previous works on alien fish species of Atlantic–Mediterranean origin over the past 50 years in the Azov–Black Sea basin within the waters of Ukraine. The most numerous in terms of the number of species of this group is the goby family. Next in numbers are the families of combtooth blennies, porgies, pipefishes, wrasses, mullets, and herrings. Other families in the waters of Ukraine are represented by 1 to 3 species of fish. There is a clear trend of reduction in the number of taxa from the waters of the Crimea to the north-western part of the Black Sea (NWBS) and the Sea of Azov. The maximum species richness of fish of Atlantic–Mediterranean origin is observed in the Crimean waters (113 species), and the taxonomic richness of the group in this area is 262 taxa. In the waters of the NWBS, species richness is 80, while taxonomic richness decreases by 25.0% to 203 taxa. In the Sea of Azov, there is a sharp decrease in species richness to 37; taxonomic richness is reduced by two times (107 taxa). The most similar to the ichthyofauna of the Black Sea of Atlantic–Mediterranean origin was the ichthyofauna of the Crimean waters (0.71). Faunas of the Crimea and NWBS are followed (0.68). The smallest coefficients of similarity have the ichthyofauna of the Azov and Black seas (0.23) and between the Azov and Crimean waters (0.33). Since the 1970s, 30 alien fish species of Atlantic–Mediterranean origin, belonging to 26 genera, 15 families, and 8 orders, have been discovered in the marine waters of Ukraine. Among them, species whose appearance is associated with the natural process of mediterraneanisation predominate (25 species, 83.3%). Species that entered with the help of anthropogenic factors accounted for 6.7%, while the share of species with unspecified vectors of introduction was 10.0%. In the waters of the Crimea and in the NWBS, there is a significant prevalence of species, the appearance of which is the result of mediterraneanisation. The aliens of the Sea of Azov belong to the accidental species, which were previously common in the Black Sea and expanded their range when salty Black Sea waters entered through the Kerch Strait as a result of the reduction of the flow of the Don and Kuban rivers, caused mainly by anthropogenic factors. In recent years, significant changes have taken place in the marine waters of Ukraine. The most significant changes occurred in the Crimea, where this percentage is 30.1 %; 24.3 % in the Sea of Azov, and 15.0 % in the waters of the NWBS.

© 2024. L. Manilo. Published by the National Museum of Natural History, NAS of Ukraine on behalf of GEO&BIO. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY-SA 4.0), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

# Різноманіття риб атлантично-середземноморського походження морських акваторій Азово-Чорноморського басейну в межах України

Леонід Маніло

**Резюме.** Стаття є продовженням серії наших попередніх робіт з видів-вселенців риб атлантично-середземноморського походження за останні 50 років в Азово-Чорноморському басейні у водах України. Найчисельнішою за кількістю видів цієї групи є родина бичкових. Далі йдуть родини собачкових, спарових, голкових, губаневих, кефалевих та оселедцевих. Інші родини у водах України представлені від 1 до 3 видів риб. Спостерігається чітка динаміка скорочення кількості таксонів від вод Криму до північно-західній частини Чорного моря (далі ПЗЧМ) та Азовського моря. Максимальне видове багатство риб атлантично-середземноморського походження спостерігається в кримських водах — 113 видів, а таксономічне багатство групи у цьому районі становить 262 таксони. У водах ПЗЧМ видове багатство складає 80; таксономічне багатство знижується на 25,0 % до 203 таксонів. В Азовському морі спостерігається різке зниження видового багатства до 37, таксономічне багатство знижується у два рази (107 таксонів). Найбільш подібною до іхтіофауни Чорного моря атлантично-середземноморського походження виявилась іхтіофауна вод Криму (0,71). Далі йдуть фауни Криму та ПЗЧМ (0,68). Найменші коефіцієнти подібності мають іхтіофауни Азовського та Чорного морів (0,23) та між Азовом і водами Криму (0,33). З 1970-х років у морських водах України виявлено 30 видів-вселенців риб атлантично-середземноморського походження, що відносяться до 26 родів, 15 родин та 8 рядів. Серед них домінують види, поява яких пов'язана з природним процесом медитерранізації (25 видів, 83,3 %). Види, які проникли за сприянням антропогенних чинників склали 6,7 %, з не уточненими векторами вселення 10,0 %. У водах Криму та в ПЗЧМ значно переважають види, поява яких являється результатом медитерранізації. Вселенці Азовського моря відносяться до випадкових, які раніше були звичайними для Чорного моря та розширили свій ареал при надходженні солоних чорноморських вод через Керченську протоку внаслідок скорочення стоку річок Дон і Кубань, спричиненого переважно антропогенними факторами. За останні роки у морських водах України відбулися суттєві зміни. Найбільш значні зміни сталися у Криму, де цей показник у відсотках складає 30,1 %, в Азовському морі — 24,3 %, в акваторії ПЗЧМ 15,0 %.

Ключові слова: види-вселенці, природні та антропогенні фактори, таксономічне багатство, Азово-Чорноморський басейн, Україна.

Адреса для зв'язку: Леонід Маніло; Національний науково-природничий музей НАН України, вул. Богдана Хмельницького 15, Київ, 01030 Україна; e-mail: leonid.manilo@gmail.com; orcid: 0000-0002-7143-9470

## Вступ

Чужорідні види є елементами величезного процесу їх впровадження та зміни навколишнього середовища.

Освоєння Чорного моря середземноморською фауною процес відносно молодий, і є результатом порівняно недавнього його з'єднання за геологічними критеріями з Середземним морем. У ньому ще не склався стійкий баланс видів, і формування іхтіофауни триває постійно і зараз. Видовий склад риб Азово-Чорноморського басейну останніми роками безперервно зростає внаслідок проникнення нових видів через численні чинники природного та антропогенного характеру: зміни клімату, солоності, прибережного та підводного ландшафтів, випадковою та навмисною інтродукцією, розвитку рибальства та марікультури, збільшенню судноплавства та ін. У деяких районах цей процес іде дуже швидкими темпами, в інших він дещо уповільнений з різних причин.

Найбільше число чужорідних видів риб в Чорному морі виявлено за період з 1998 р. по 2013 р. (всього 25 видів), з яких 21 вид знайдений біля чорноморського узбережжя Криму. Наприклад, у водах Криму з 1970-х років виявлено 31 новий вид з 27 родів та 16 родин [Manilo 2021] переважно за рахунок природних міграцій, а також переміщення їх молоді через протоку Босфор течіями (медитерранізація).

У північно-західній частині Чорного моря (далі ПЗЧМ) їх кількість значно менша — 7 видів, що належать до 7 родів з 5 родин. Їх поширення обмежується зниженою солоністю вод

внаслідок впадання річок Дунай, Південний Буг та Дніпро, винятком є прибережні води о. Зміїний [Manilo *et al.* 2022].

В Азовському морі у водах України за такий же приблизно період зареєстровано 6 видів-вселенців атлантично-середземноморського походження з 6 родів та 6 родин, які раніше постійно відмічалися у Чорному морі. Ці знахідки свідчать про процес просування чорноморської фауни у води Азовського моря і названий «понтизацією» [Anistratenko *et al.* 2011]. Цей процес аналогічний медитерранізації Чорного моря [Puzanov 1967] і є наступним етапом поповнення іхтіофауни цієї водойми середземноморськими елементами. Тут вселенці розширили свій ареал при адвекції більш солоних чорноморських вод через Керченську протоку внаслідок скорочення стоку річок Дон та Кубань, спричиненого переважно антропогенними, а також кліматичними факторами [Manilo & Demchenko 2022].

Екосистеми Чорного та Азовського морів на даному етапі все ще далекі від стабільного стану і тому чутливі до різного роду впливів. Нестійкість екосистем вод регіону робить дуже важливими спостереження за процесами, що відбуваються у популяціях морської іхтіофауни.

Своєчасне виявлення та визначення нових видів за межами їх історичних ареалів, коридорів та векторів біологічних інвазій, оцінка стану і зміни різноманітності біоти Чорного та Азовського морів під впливом природних і антропогенних факторів, зокрема, в результаті інтродукції чужорідних видів, безумовно, має важливе теоретичне та практичне значення.

Ця робота є продовженням серії наших повідомлень, присвячених аналізу та розповсюдженню видів-вселенців риб атлантично-середземноморського походження, оцінки таксономічного різноманіття цієї групи та порівняльної оцінки районів Азово-Чорноморського басейну в межах вод України за останні 50 років.

## Матеріал і методи

Матеріали, методи збору та обробки докладно описані в попередніх публікаціях [Manilo 2021; Manilo *et al.* 2022; Manilo & Demchenko 2022]. В даній роботі список видів риб Чорного моря атлантично-середземноморського походження складено з урахуванням більш ранніх [Fricke *et al.* 2007; Keskin 2010; Bilecenoglu *et al.* 2014] та останніх публікацій турецьких та інших дослідників [Kabasakal 2020; Çinar *et al.* 2021; Turan *et al.* 2023; Özdemir *et al.* 2023]. Список видів цієї групи риб у водах Криму, ПЗЧМ та Азовського моря складено за узагальненими нами даними численних літературних джерел з часів виходу праць К. Кесслера [Kessler 1877] та А. Остроумова [Ostroumov 1897].

На сучасному етапі існує чимало точок зору з питання визначення поняття «чужорідний вид». В цій роботі застосовано значення цього терміну, який наводиться у монографії Р. Новіцького [Novitsky 2021]. Чужорідні види або види-вселенці, це види живих організмів, що перебувають у складі неродинних їм угруповань, види за межами своїх природних ареалів.

Знахідки видів атлантично-середземноморського походження, які раніше нами відзначались у морських водах України на окремих ділянках як сумнівні, в підсумку враховували як позитивні. Крім того, за останні роки з'явилися нові види-вселенці у Чорному морі, в зв'язку з чим чисельність таксонів та їх відносні дані можуть дещо відрізнитися від наших попередніх публікацій.

У загальний список риб включені види, поширення яких обмежується не лише Атлантичним океаном. Наприклад, циркумтропічний *Naucrates ductor* (Linnaeus, 1758), циркумглобальні *Seriola dumerili* (Risso, 1810), *Thunnus thynnus* (Linnaeus, 1758) і *Xiphias gladius* Linnaeus, 1758 вже увійшли до складу іхтіофауни Середземного моря і вважаються елементами цієї водойми. Виходячи з цього, ми аналізуємо дані за видами-вселенцями на тлі атлантично-середземноморського походження.

В основній таблиці видового складу іхтіофауни, види-вселенці в Азовське море не виділяються напівжирним шрифтом, оскільки вони являються випадковими для цієї водойми і

раніше зустрічалися в акваторії Чорного моря, в тому числі і у водах України. Вектори вселення таких видів позначені як «М/П», тобто насамперед вони з'явилися у Чорному морі (процес медитерранізації), а пізніше за сприятливих умов проникали до Азовського (процес понтізації).

Якісну та кількісну оцінку стану риб атлантично-середземноморського походження на різних ділянках морських вод України здійснювали на основі аналізу табличних даних.

Окремі ділянки порівнювали за фауністичними списками з використанням на видовому рівні індексу подібності Жаккара, якій обчислювали за формулою:

$$G_j = c/a+b-c,$$

де  $a$  — кількість видів у першому фауністичному списку;  $b$  — кількість видів у другому фауністичному списку;  $c$  — кількість видів, спільних для обох фауністичних списків.  $G_j$  варіює від 0 до 1 [Pesenko 1982].

Математичну обробку отриманих даних проводили за допомогою комп'ютерних програм Microsoft Excel 2010, PAST v.1.79 та Stat Soft STATISTICA 6.

## Результати та обговорення

В результаті аналізу літературних джерел, власних досліджень та опрацювання іхтіологічної колекції ННПМ НАНУ, в акваторії Чорного моря зареєстровано 160 видів риб з 108 родів, 62 родин та 22 рядів, що мають атлантично-середземноморське походження. В тому числі значна їх кількість зустрічалася за межами вод України (44 види з 36 родів і 29 родин) (табл. 1).

У морських водах України всього занотовано 116 видів риб з 84 родів, 50 родин та 18 рядів, що відносяться до цієї групи. Найчисельнішою за кількістю видів у водах України є родина бичкових Gobiidae, яка налічує у водах Криму 17 видів з 8 родів, у водах ПЗЧМ — 7 видів з 5 родів та 5 видів з 4 родів в Азовському морі. Далі за чисельністю йдуть родини собачкових Blenniidae — 9 видів з 6 родів у Криму, 6 видів з 4 родів у ПЗЧМ, 2 види з 1 роду в Азовському морі; спарових Sparidae — 8 видів з 7 родів у Криму, 5 видів з 3 родів у ПЗЧМ, 1 вид в Азовському морі; голкових Syngnathidae — по 7 видів з 3 родів у Криму та у ПЗЧМ, 5 видів з 3 родів в Азовському морі; губаневих Labridae — 7 видів з 3 родів у Криму, 5 видів з 2 родів у ПЗЧМ та 1 вид в Азовському морі; кефалевих Mugilidae — 5 видів з 2 родів у Криму, по 3 види з 2 родів у ПЗЧМ та в Азовському морі; оселедцевих Clupeidae — 4 види з 4 родів у Криму, 2 види з 2 родів у ПЗЧМ та в Азовському морі. Інші родини у водах України представлені від 1 до 3 видів риб (див. табл. 1).

**Таблиця 1. Видовий склад іхтіофауни атлантично-середземноморського походження Чорного моря в цілому, вод Криму, північно-західної частини Чорного моря, Азовського моря і риб-вселенців (з 1970-х рр.) в межах вод України та їх коротка екологічна характеристика**

**Table 1. The species composition of the Atlantic–Mediterranean fish fauna of the Black Sea in general, the waters of the Crimea, the north-western part of the Black Sea (since 1877), the Sea of Azov (since 1897), and alien fishes (since the 1970s) within the waters of Ukraine and their brief ecological characteristics**

Ряд, родина, вид	Зустрічальність у водах			Екологічна група	Вектор вселення
	Криму	ПЗЧМ	АзМ		
LAMNIFORMES					
I. Alopiidae					
1. <i>Alopias vulpinus</i> (Bonnaterre, 1788)*				ПЛ	
CARCHARHINIFORMES					
II. Scyliorhinidae					
2. <i>Scyliorhinus canicula</i> (Linnaeus, 1758)*				БП	
III. Triakidae					
3. <i>Mustelus asterias</i> Cloquet, 1821*				БП	
4. <i>Mustelus mustelus</i> (Linnaeus, 1758)*				БП	
IV. Sphyrnidae					
5. <i>Sphyrna zygaena</i> (Linnaeus, 1758)*				ПЛ	

Ряд, родина, вид	Зустрічальність у водах			Екологічна група	Вектор вселення
	Криму	ПЗЧМ	АзМ		
HEXANCHIFORMES					
V. Hexanchidae					
6. <i>Hexanchus griseus</i> (Bonnaterra, 1788)*				БП	
SQUALIFORMES					
VI. Squalidae					
7. <i>Squalus acanthias</i> Linnaeus, 1758	+	+	+	БП	
8. <i>Squalus blainville</i> (Risso, 1927)*				БП	
VII. Oxynotidae					
9. <i>Oxynotus centrina</i> Linnaeus, 1758*				Б	
SQUATINIFORMES					
VIII. Squatinidae					
10. <i>Squatina squatina</i> (Linnaeus, 1758)*				Б	
RAJIFORMES					
IX. Rajidae					
11. <i>Raja clavata</i> Linnaeus, 1758***	+	+	+	Б	М/П
MYLIOBATIFORMES					
X. Dasyatidae					
12. <i>Dasyatis pastinaca</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	Б	
XI. Gymnuridae					
13. <i>Gymnura altavela</i> (Linnaeus, 1758)*				Б	
ACIPENSERIFORMES					
XII. Acipenseridae					
14. <i>Acipenser sturio</i> Linnaeus, 1758**	+	+		БП	
ANGUILLIFORMES					
XIII. Anguillidae					
15. <i>Anguilla anguilla</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	БП	
XIV. Congridae					
16. <i>Conger conger</i> (Linnaeus, 1758)	+			БП	
CLUPEIFORMES					
XV. Engraulidae					
17. <i>Engraulis encrasicolus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	ПЛ	
XVI. Clupeidae					
18. <i>Alosa fallax</i> (Lacepede, 1803)	+			ПЛ	
19. <i>Sardina pilchardus</i> (Walbaum, 1792)	+	+	+	ПЛ	М/П
20. <i>Sardinella aurita</i> Valenciennes, 1847	+			ПЛ	М
21. <i>Sprattus sprattus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	ПЛ	
GADIFORMES					
XVII. Merlucciidae					
22. <i>Merluccius merluccius</i> (Linnaeus, 1758)*				БП	
XVIII. Phycidae					
23. <i>Gaidropsarus mediterraneus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+		Б	
XIX. Gadidae					
24. <i>Merlangius merlangus</i> (Linnaeus, 1758)***	+	+	+	БП	М/П
25. <i>Micromesistius poutassou</i> (Risso, 1827)	+			ПЛ	М
OPHIDIIFORMES					
XX. Ophidiidae					
26. <i>Ophidion rochei</i> Müller, 1845	+	+		Б	
27. <i>Ophidion barbatum</i> Linnaeus, 1758*				Б	
LOPHIIFORMES					
XXI. Lophiidae					
28. <i>Lophius budegassa</i> Spinola, 1807*				Б	
29. <i>Lophius piscatorius</i> Linnaeus, 1758**	+	+		Б	
MUGILIFORMES					
XXII. Mugilidae					
30. <i>Chelon auratus</i> (Risso, 1810)	+	+	+	БП	
31. <i>Chelon labrosus</i> (Risso, 1827)	+			ПЛ	М
32. <i>Chelon ramada</i> (Risso, 1827)	+			ПЛ	М
33. <i>Chelon saliens</i> (Risso, 1810)	+	+	+	ПЛ	
34. <i>Mugil cephalus</i> Linnaeus, 1758	+	+	+	БП	
ATHERINIFORMES					
XXIII. Atherinidae					
35. <i>Atherina boyeri</i> Risso, 1810	+	+	+	ПЛ	
36. <i>Atherina hepsetus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+		ПЛ	
BELONIFORMES					
XXIV. Belonidae					
37. <i>Belone belone</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	ПЛ	

Ряд, родина, вид	Зустрічальність у водах			Екологічна група	Вектор вселення
	Криму	ПЗЧМ	АзМ		
38. <i>Belone svetovidovi</i> Collette & Parin, 1970*				ПЛ	
ZEIFORMES					
XXV. Zeidae					
39. <i>Zeus faber</i> Linnaeus, 1758**	+	+		ПЛ	
GASTEROSTEIFORMES					
XXVI. Gasterosteidae					
40. <i>Gasterosteus aculeatus</i> Linnaeus, 1758	+	+	+	БП	
XXVII. Syngnathidae					
41. <i>Hippocampus hippocampus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	БП	
42. <i>Nerophis ophidion</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	БП	
43. <i>Syngnathus abaster</i> Risso, 1827	+	+	+	БП	
44. <b><i>Syngnathus acus</i> Linnaeus, 1758</b>	+	+		БП	М/БВ
45. <i>Syngnathus tenuirostris</i> Rathke, 1837	+	+	+	БП	
46. <i>Syngnathus typhle</i> Linnaeus, 1758	+	+	+	БП	
47. <i>Syngnathus variegatus</i> Pallas, 1814	+	+		БП	
SCORPAENIFORMES					
XXVIII. Dactylopteridae					
48. <b><i>Dactylopterus volitans</i> (Linnaeus, 1758)</b>	+	+		Б	М/БВ
XXIX. Scorpaenidae					
49. <i>Scorpaena notata</i> Rafinesque, 1810*				БП	
50. <i>Scorpaena porcus</i> Linnaeus, 1758	+	+	+	БП	
XXX. Triglidae					
51. <i>Chelidonichthys cuculus</i> (Linnaeus, 1758)*				Б	
52. <i>Chelidonichthys lucerna</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	Б	
53. <i>Eutyrgla gurnardus</i> (Linnaeus, 1758)*				Б	
PERCIFORMES					
XXXI. Moronidae					
54. <i>Dicentrarchus labrax</i> (Linnaeus, 1758)	+	+		ПЛ	
XXXII. Serranidae					
55. <i>Serranus cabrilla</i> (Linnaeus, 1758)*				БП	
56. <i>Serranus hepatus</i> (Linnaeus, 1758)*				БП	
57. <i>Serranus scriba</i> (Linnaeus, 1758)	+	+		БП	
XXXIII. Pomatomidae					
58. <i>Pomatomus saltatrix</i> (Linnaeus, 1766)	+	+	+	ПЛ	
XXXIV. Echeneidae					
59. <i>Echeneis naucrates</i> Linnaeus, 1758*				ПЛ	
XXXV. Carangidae					
60. <i>Lichia amia</i> (Linnaeus, 1758)*				ПЛ	
61. <i>Naucrates ductor</i> (Linnaeus, 1758)		+		ПЛ	
62. <b><i>Seriola dumerili</i> (Risso, 1810)</b>		+		ПЛ	М
63. <i>Trachurus mediterraneus</i> (Steindachner, 1868)	+	+	+	ПЛ	
64. <i>Trachurus trachurus</i> (Linnaeus, 1758)	+			ПЛ	
XXXVI. Sparidae					
65. <b><i>Boops boops</i> (Linnaeus, 1758)</b>	+			БП	М
66. <b><i>Dentex dentex</i> (Linnaeus, 1758)</b>	+			БП	М
67. <i>Diplodus annularis</i> (Linnaeus, 1758)**	+	+	+	БП	М/П
68. <i>Diplodus puntazzo</i> (Cetti, 1784)	+	+		БП	
69. <b><i>Diplodus sargus</i> (Linnaeus, 1758)</b>	+	+		БП	М
70. <i>Diplodus vulgaris</i> (Geoffroy St. Hilaire, 1817)*				БП	
71. <b><i>Lithognathus mormyrus</i> (Linnaeus, 1758)</b>	+			БП	М
72. <i>Oblada melanura</i> (Linnaeus, 1758)*				БП	
73. <i>Pagellus erythrinus</i> (Linnaeus, 1758)	+			БП	
74. <b><i>Sarpa salpa</i> (Linnaeus, 1758)</b>	+	+		ПЛ	М
75. <b><i>Sparus aurata</i> Linnaeus, 1758</b>	+	+		БП	М/БІ
76. <i>Spondyliosoma cantharus</i> (Linnaeus, 1758)*				БП	
XXXVII. Centracanthidae					
77. <i>Centracanthus cirrus</i> Rafinesque, 1810*				БП	
78. <i>Spicara flexuosa</i> Rafinesque, 1810	+	+		БП	
79. <i>Spicara maena</i> (Linnaeus, 1758)	+			БП	
80. <i>Spicara smaris</i> (Linnaeus, 1758)		+		БП	
XXXVIII. Sciaenidae					
81. <i>Argyrosomus regius</i> (Asso, 1810)*				БП	
82. <i>Sciaena umbra</i> Linnaeus, 1758	+	+		БП	
83. <i>Umbrina cirrosa</i> (Linnaeus, 1758)	+	+		БП	
XXXIX. Mullidae					
84. <i>Mullus barbatus</i> Linnaeus, 1758	+	+	+	БП	

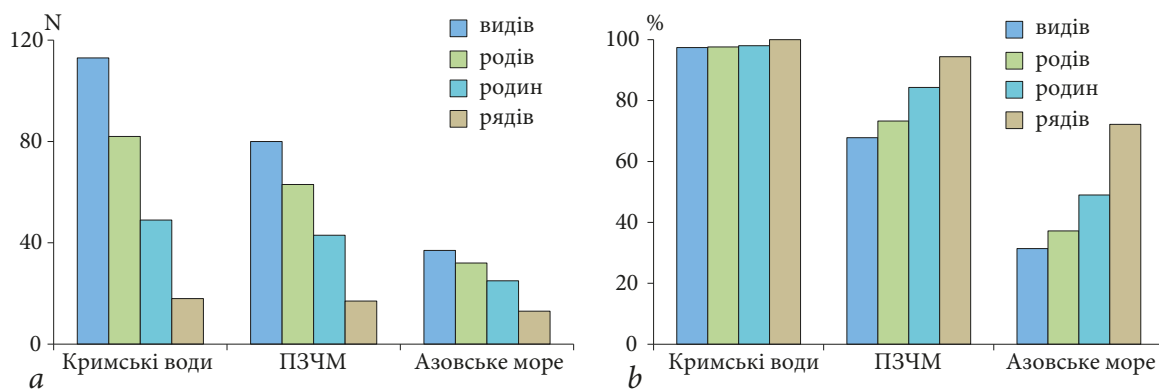
Ряд, родина, вид	Зустрічальність у водах			Екологічна група	Вектор вселення
	Криму	ПЗЧМ	АзМ		
85. <i>Mullus surmuletus</i> Linnaeus, 1758* XL. Chaetodontidae				БП	
86. <b><i>Heniochus acuminatus</i> (Linnaeus, 1758)</b> XLI. Pomacentridae	+			БП	БВ
87. <i>Chromis chromis</i> (Linnaeus, 1758) XLII. Labridae	+	+		БП	
88. <i>Coris julis</i> (Linnaeus, 1758)*				БП	
89. <i>Ctenolabrus rupestris</i> (Linnaeus, 1758)	+	+		БП	
90. <i>Labrus viridis</i> Linnaeus, 1758	+			БП	
91. <i>Symphodus bailloni</i> Vaslenciennes, 1839*				БП	
92. <i>Symphodus cinereus</i> (Bonnaterre, 1788)	+	+		БП	
93. <i>Symphodus ocellatus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	БП	
94. <i>Symphodus roissali</i> (Risso, 1810)	+	+		БП	
95. <i>Symphodus rostratus</i> (Bloch, 1791)	+			БП	
96. <i>Symphodus tinca</i> (Linnaeus, 1758) XLIII. Ammodytidae	+	+		БП	
97. <i>Gymnammodytes cicereus</i> (Rafinesque, 1810) XLIV. Trachinidae	+	+		Б	
98. <i>Trachinus draco</i> Linnaeus, 1758 XLV. Uranoscopidae	+	+		Б	
99. <i>Uranoscopus scaber</i> Linnaeus, 1758*** XLVI. Tripterygiidae	+	+	+	Б	М/П
100. <i>Tripterygion tripteronotus</i> (Risso, 1810) XLVII. Blenniidae	+			БП	
101. <i>Aidablennius sphyinx</i> (Valenciennes, 1836)	+	+		Б	
102. <i>Blennius ocellaris</i> Linnaeus, 1758	+			Б	
103. <i>Coryphoblennius galerita</i> (Linnaeus, 1758)	+	+		Б	
104. <i>Microlipophrys adriaticus</i> (Steindachner et Kolombatovic, 1883)	+			Б	
105. <i>Parablennius gattorugine</i> (Linnaeus, 1758)*				Б	
106. <b><i>Parablennius incognitus</i> (Bath, 1968)</b>	+			Б	М
107. <i>Parablennius sanguinolentus</i> (Pallas, 1814)	+	+		Б	
108. <i>Parablennius tentacularis</i> (Brünnich, 1768)	+	+	+	Б	
109. <i>Parablennius zvonimiri</i> (Kolombatovič, 1892)	+	+	+	Б	
110. <i>Salaria pavo</i> (Risso, 1810) XLVIII. Gobiidae	+	+		Б	
111. <b><i>Apletodon dentatus</i> (Facciola, 1887)</b>	+			Б	М
112. <i>Diplecogaster bimaculatus</i> (Bonnaterre, 1788)	+	+		Б	
113. <i>Lepadogaster candolii</i> Risso, 1810	+	+		Б	
114. <i>Lepadogaster lepadogaster</i> (Bonnaterre, 1788) XLIX. Callionymidae	+			Б	
115. <i>Callionymus fasciatus</i> Valenciennes, 1837*				Б	
116. <i>Callionymus lyra</i> Linnaeus, 1758*				Б	
117. <i>Callionymus pusillus</i> Delaroche, 1809	+	+		Б	
118. <i>Callionymus risso</i> Lesueur, 1814 L. Gobiidae	+	+		Б	
119. <i>Aphia minuta</i> (Risso, 1810)	+	+	+	П/Л	
120. <b><i>Chromogobius quadrivittatus</i> (Steindachner, 1863)</b>	+			Б	М
121. <b><i>Chromogobius zebratus</i> (Kolombatovič, 1891)</b>	+			Б	М
122. <b><i>Gammogobius steinitzi</i> Bath, 1971</b>	+			Б	М
123. <i>Gobius bucchichi</i> Steindachner, 1870	+			Б	
124. <i>Gobius cobitis</i> Pallas, 1814	+			Б	
125. <b><i>Gobius couchi</i> Miller &amp; El-Tawil, 1974</b>	+			Б	М
126. <b><i>Gobius cruentatus</i> Gmelin, 1789</b>	+			Б	М
127. <i>Gobius niger</i> Linnaeus, 1758***	+	+	+	Б	М/П
128. <i>Gobius paganellus</i> Linnaeus, 1758	+	+		Б	
129. <b><i>Gobius xanthocephalus</i> Heymer et Zander, 1992</b>	+			Б	М
130. <b><i>Millerigobius macrocephalus</i> (Kolombatovič, 1891)</b>	+			Б	БВ
131. <b><i>Pomatoschistus bathi</i> Miller, 1982</b>	+			Б	М
132. <i>Pomatoschistus marmoratus</i> (Risso, 1810)	+	+	+	Б	
133. <i>Pomatoschistus minutus</i> (Pallas, 1770)	+	+	+	Б	
134. <i>Pomatoschistus pictus</i> (Malm, 1865)*	+	+	+	Б	
135. <b><i>Zebrus zebrus</i> (Risso, 1826)</b>	+			Б	М
136. <i>Zosterisessor ophiocephalus</i> (Pallas, 1814) LI. Siganidae	+	+	+	Б	
137. <i>Siganus luridus</i> (Rüppell, 1828)*				БП	

Ряд, родина, вид	Зустрічальність у водах			Екологічна група	Вектор вселення
	Криму	ПЗЧМ	АзМ		
LII. Acanthuridae					
138. <b><i>Acanthurus monroviae</i> Steindachner, 1876</b>	+			БП	М
LIII. Sphyraenidae					
139. <b><i>Sphyraena pinguis</i> Günther, 1874</b>	+			ПЛ	М
140. <i>Sphyraena sphyraena</i> (Linnaeus, 1758)	+	+		ПЛ	
LIV. Trichiuridae					
141. <i>Lepidopus caudatus</i> (Euphrasen, 1788)*				ПЛ	
LV. Scombridae					
142. <i>Auxis rochei</i> (Risso, 1810)*				ПЛ	
143. <i>Euthynnus alleteratus</i> (Rafinesque, 1810)*				ПЛ	
144. <i>Sarda sarda</i> (Bloch, 1793)	+	+	+	ПЛ	
145. <i>Scomber colias</i> Gmelin, 1789*				ПЛ	
146. <i>Scomber scombrus</i> Linnaeus, 1758**	+	+		ПЛ	
147. <i>Thunnus alalunga</i> (Bonnaterre, 1788)*				ПЛ	
148. <i>Thunnus thynnus</i> (Linnaeus, 1758)**	+	+		ПЛ	
LVI. Xiphiidae					
149. <i>Xiphias gladius</i> Linnaeus, 1758**	+	+		ПЛ	
PLEURONECTIFORMES					
LVII. Scophthalmidae					
150. <b><i>Scophthalmus rhombus</i> (Linnaeus, 1758)</b>	+			Б	М
LVIII. Pleuronectidae					
151. <i>Platichthys flesus</i> Linnaeus, 1758	+	+	+	Б	
LIX. Bothidae					
152. <i>Arnoglossus kessleri</i> Schmidt, 1915	+	+		Б	
153. <i>Arnoglossus laterna</i> (Walbaum, 1792)*				Б	
154. <i>Arnoglossus thori</i> Kyle, 1913*				Б	
LX. Soleidae					
155. <i>Buglossidium luteum</i> (Risso, 1810)*				Б	
156. <i>Microchirus variegatus</i> (Donovan, 1808)*				Б	
157. <i>Pegusa nasuta</i> (Pallas 1814)	+	+	+	Б	
158. <i>Solea solea</i> (Linnaeus, 1758)*				Б	
TETRAODONTIFORMES					
LXI. Balistidae					
159. <i>Balistes caprisus</i> Gmelin, 1789	+			БП	
LXII. Tetraodontidae					
160. <b><i>Lagocephalus sceleratus</i> (Gmelin, 1789)</b>	+			БП	М
160 видів з 108 родів	113 видів з 82 родів	80 видів з 63 родів	37 видів з 32 родів		

ПЗЧМ — північно-західна частина Чорного моря; АзМ — Азовське море. Напівжирним шрифтом позначено види-вселенці, які з'явилися у чорноморських водах України за останні 50 років; \* — види атлантично-середземноморського походження Чорного моря за межами вод України; \*\* — види, які зникли за останні 50 років; \*\*\* — види, що з'явилися в Азовському морі протягом останніх 50 років. Належність видів до екологічних груп: ПЛ — пелагічна, БП — бентопелагічна, Б — бентична. Вектори вселення: М — природний процес вселення (медитерранізація), М/П — медитерранізація та подальша «понтізація» Азовського моря (для чорноморських видів, що з'явилися в Азовському морі протягом останніх 50 років). БВ — проникнення з баластними водами суден; М/БВ — вектор вселення не уточнений, медитерранізація або проникнення з баластними водами суден; М/БІ — вектор вселення не уточнений, медитерранізація або випадкова інтродукція.

ПЗЧМ—the north-western part of the Black Sea; АзМ—Sea of Azov. Native species in the Black Sea waters of Ukraine over the past 50 years are highlighted in bold; \*—species of Atlantic–Mediterranean origin of the Black Sea outside the waters of Ukraine; \*\*—species that have gone extinct over the past 50 years; \*\*\*—species that appeared in the Sea of Azov during the last 50 years. Species belonging to ecological groups: ПЛ—pelagic, БП—benthopelagic, Б—benthic. Vectors of introduction: М—natural expansion (mediterraneanisation); М/П—mediterraneanisation and subsequent 'pontisation' of the Sea of Azov (for the species of the Black Sea that appeared in the Sea of Azov over the remaining 20 years; БВ—by ballast waters; М/БВ—unspecified, either mediterraneanisation or by ballast waters; М/БІ—unspecified, either mediterraneanisation or unintentional introduction.

Аналізуючи зміну таксономічної структури риб атлантично-середземноморського походження в Азово-Чорноморському басейні можна стверджувати, що спостерігається чітка динаміка скорочення кількості таксонів від кримських вод до ПЗЧМ та Азову. У водах Криму ця група риб найбільша та нараховує 113 видів з 82 родів, 49 родин та 18 рядів, що складають



**Рис. 1.** Склад таксонів риб атлантично-середземноморського походження в Азово-Чорноморському басейні в межах вод України: (а) абсолютний, (б) відносний (в %).

**Fig. 1.** Composition of fish taxa of Atlantic–Mediterranean origin in the Azov–Black Sea basin within the waters of Ukraine: (a) absolute, (b) relative (in %).

відповідно 97,4 %, 97,6 %, 98,0 % та 100,0 % від загальної кількості таксонів у морських водах України. У водах ПЗЧМ ці абсолютні показники зменшуються майже на 30 %, а в Азовському морі ще на третину. Це пов'язано з трансформацією чорноморських солоних вод у ПЗЧМ в результаті опріснення річками Дніпро, Дністер і Дунай та загальним зростанням солоності в Азові з 2007 р., про що згадувалося у наших попередніх повідомленнях [Manilo *et al.* 2022; Manilo & Demchenko 2022]. Абсолютний та відносний склад таксонів риб атлантично-середземноморського походження в Азово-Чорноморському басейні в межах вод України представлений на рис. 1.

Максимальне видове багатство риб атлантично-середземноморського походження виявлено в кримських водах (113 видів, що належать до 82 родів із 49 родин та 18 рядів), таксономічне багатство у цьому районі становить 262 таксона, що дуже близько до аналогічних значень за всіма показниками у водах України. У межах вод ПЗЧМ ці показники опускаються до 80, 63, 43 та 17 відповідно, таксономічне багатство також знижується на 25 % до 203 таксонів. В українських водах Азовського моря спостерігається різке зниження цих характеристик до 37, 32, 25 та 13 відповідно, кількість видів, родів та таксономічне багатство у цьому районі знижується майже у два рази (табл. 2).

**Таблиця 2.** Видове і таксономічне багатство риб атлантично-середземноморського походження в Азово-Чорноморському басейні в межах вод України

**Table 2.** Species and taxonomic richness of fish of Atlantic–Mediterranean origin in the Azov–Black Sea basin within the waters of Ukraine

Таксони	Всього у водах України	Кримські води	ПЗЧМ	Азовське море
<u>Видів</u> $\bar{n}$	116	113	80	37
%	100,0	97,4	69,0	31,9
<u>Родів</u> $\bar{n}$	84	82	63	32
%	100,0	97,6	75,0	38,1
<u>Родин</u> $\bar{n}$	50	49	43	25
%	100,0	98,0	86,0	50,0
<u>Рядів</u> $\bar{n}$	18	18	17	13
%	100,0	100,0	94,4	72,2
Таксономічне багатство	268	262	203	107

Проведений порівняльний аналіз ступенів подібності на видовому рівні риб атлантично-середземноморського походження різних акваторій за коефіцієнтом Жаккара показав, що в межах Азово-Чорноморського басейну найбільш подібною до іхтіофауни Чорного моря виявилась іхтіофауна кримських вод. Відносно висока подібність видового складу цих вод може пояснюватися біотопними та гідрологічними характеристиками. Коефіцієнт подібності для цих акваторій становить 0,71. Далі за подібністю йдуть фауни вод Криму та ПЗЧМ — 0,68.

Дещо менші коефіцієнти подібності за видовим складом мають води Чорного моря загалом до ПЗЧМ — 0,50, а також між ПЗЧМ та Азовським морем — 0,46. Найменші коефіцієнти подібності мають іхтіофауни Азову та Чорного моря — 0,23, а також між Азовом та водами Криму — 0,32 (табл. 3).

Що стосується видів-вселенців атлантично-середземноморського походження, то з 1970-х років їх виявлено 30, які відносяться до 26 родів, 15 родин та 8 рядів. Серед них домінують види, поява яких пов'язана з природним процесом медитерранізації (25 видів, 83,3 %). Два види, які проникли за сприянням антропогенних чинників (з баластними водами суден) склали 6,7 %, а з не уточненими векторами вселення (3 види) — 10,0 % (рис. 2).

Таблиця 3. Ступінь подібності на видовому рівні іхтіофауни атлантично-середземноморського походження Азово-Чорноморського басейну в межах вод України за коефіцієнтом Жаккара

Table 3. The degree of similarity at species level of the fish fauna of Atlantic-Mediterranean origin of the Azov-Black Sea basin within the waters of Ukraine according to the Jaccard coefficient

Акваторії	Чорне море в цілому	Кримські води	ПЗЧМ	Азовське море
Чорне море в цілому	<b>160</b>	0,71	0,50	0,23
Кримські води	0,71	<b>113</b>	0,68	0,33
ПЗЧМ	0,50	0,68	<b>80</b>	0,46
Азовське море	0,23	0,33	0,46	<b>37</b>

Напівжирним шрифтом вказано кількість видів.  
The number of species is shown in bold.

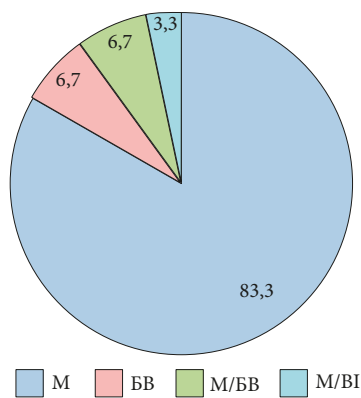


Рис. 2. Співвідношення видів-вселенців риб (%) у морських водах України з різними векторами вселення. Синім позначені види, поява яких пов'язана з природним процесом медитерранізації (М); червоним — види, пов'язані з антропогенними чинниками (з баластними водами БВ); зеленим та жовтим — з не уточненими векторами вселення (М/БВ медитерранізація або з баластними водами, М/ВІ медитерранізація або випадкова інтродукція відповідно).

Fig. 2. The ratio of alien fish species (%) in the marine waters of Ukraine with different vectors of introduction. Species whose appearance is associated with the natural process of mediterraneanization (M) are marked in blue; in red—species associated with anthropogenic factors (with ballast waters BV); green and yellow—with unspecified introduction vectors (M/BV—mediterraneanization or with ballast water, M/VI—mediterraneanization or accidental introduction relatively).

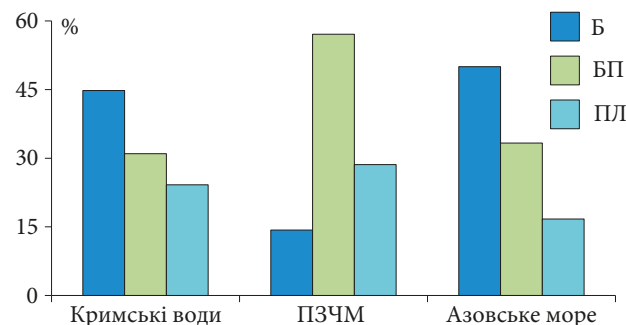


Рис. 3. Співвідношення видів різних екологічних груп (Б — бентичної, БП — бентопелагічної, ПЛ — пелагічної) серед риб-вселенців в межах морських акваторій України.

Fig. 3. The ratio of species of different ecological groups (B—benthic, BP—benthopelagic, PL—pelagic) among alien fish in marine waters of Ukraine.

За кількістю нових видів-вселенців найчисленнішими в Чорному морі є представники родин бичкових Gobiidae (9 видів) та спарових Sparidae (6 видів), частина яких складає 50,0 %.

У водах Криму занотовано 29 видів риб-вселенців (25,7 % від складу представників атлантично-середземноморського походження у цьому районі), на рівні родів — 30,5 % і на рівні родин 28,6 % (табл. 4). Також можна констатувати, що серед них домінують види бентичної екологічної групи (13 видів, 44,8 %). Бентопелагічна (9 видів) і пелагічна (7 видів) групи

становлять 31,0 % та 24,2 % відповідно (рис. 3). Вектори проникнення нових видів у кримські води практично не відрізняються від таких загалом. Види, які проникли за сприянням антропогенних чинників складають 6,9 %, а з не уточненими векторами вселення мають 10,3 %.

Таблиця 4. Співвідношення таксонів риб-вселенців (n) атлантично-середземноморського походження до їх загальної чисельності (N) в Азово-Чорноморському басейні в межах вод України

Table 4. The ratio of alien fish taxa (n) of Atlantic-Mediterranean origin to their total number (N) in the Azov-Black Sea basin within the waters of Ukraine

Таксони	Кримські води	ПЗЧМ	Азовське море
Всього видів N	113	80	37
Вселенців n (%)	29 (25,7)	7 (8,8)	6 (16,2)
Всього родів N	82	63	32
Вселенців n (%)	25 (30,5)	7 (11,1)	6 (18,8)
Всього родин N	49	43	25
Вселенців n (%)	14 (28,6)	5 (11,6)	6 (24,0)

У водах ПЗЧМ частка вселенців складає 8,8 % від кількості представників атлантично-середземноморського походження у цьому районі, на рівні родів — 11,1 % і на рівні родин 11,6 % (див. табл. 4). В структурі нових видів-вселенців риб переважають види бентопелагічної (4 види, 57,1 %) і пелагічної (2 види, 28,6 %) екологічних груп. З бентичної групи відзначений тільки 1 вид (14,3 %) (див. рис. 3). На сучасному етапі із 7 нових видів риб, виявлених у водах ПЗЧМ за останні 50 років, домінують 4 види (57,1 %), поява яких також пов'язана з природним процесом медитерранізації. Для 3 видів (42,9 %) встановити вектор вселення на теперішній час не має можливості. Причому варто зазначити, що значна частина нових видів (~ 70 %), виявлених у цьому районі у більш ранні терміни зустрічалися у водах Криму або біля Кавказького узбережжя Чорного моря та Туреччини.

В Азовському морі на видовому рівні вселенці складають 16,2 % від кількості представників атлантично-середземноморського походження в даній акваторії, на рівні родів — 18,8 % і на рівні родин — 24,0 % (табл. 4). За екологічними групами 3 види (50,0 %) відносяться до бентичних видів, 2 (33,3 %) — до бентопелагічних та 1 (17,7 %) — до пелагічних. На відміну від вод Криму, або ПЗЧМ, де частка вселенців зустрічалася також постійно або епізодично, всі види-вселенці Азовського моря, занотовані за останні 50 років відносяться до випадкових, які раніше були звичайними видами Чорного моря та поширили свій ареал при надходженні більш солоних чорноморських вод через Керченську протоку внаслідок скорочення стоку річок Дон і Кубань, спричиненого переважно антропогенними факторами.

Дослідження коливання чисельності вселенців показало, що за останні роки у водах України зникло 6 видів риб атлантично-середземноморського походження: Осетер атлантичний *Acipenser sturio* (зустрічався у 1950-ті роки біля берегів Криму та в Каркінитській затоки), Морський чорт європейський *Lophius piscatorius*, Зеус звичайний *Zeus faber*, Тунець блакитний *Thunnus thynnus*, Мечорил звичайний *Xiphias gladius*. До цього списку потрібно додати Скумбрію атлантичну *Scomber scombrus*, яка в даний час не зустрічається в Азовському морі [Manilo & Demchenko 2022].

Втім, у ході досліджень проекту EMBLAS у 2017 р. ДНК *A. sturio* виявлено у багатьох пробах по Чорному морю, у тому числі у водах України, що є позитивним фактом (<https://emblasproject.org>).

Останні повідомлення про реєстрації *T. thynnus* і *X. gladius* в акваторії Чорного моря біля узбережжя Туреччини відносяться до 1985 р. і 2013 р. відповідно [Ulman *et al.* 2020].

За попередні роки було кілька повідомлень про реєстрацію Морського чорта у Чорному морі поза водами України: біля узбережжя Туреччини [Bat *et al.* 2005; Polat 2017], біля чорноморського узбережжя Кавказу в районі м. Туапсе у 2012 р., в мережі Інтернет були декілька інформувальних повідомлень про відлов рибалками цього виду біля узбережжя Грузії (напр. 22.02.2018 на сервісі «sovanews.tv»).

Також можна констатувати, що у всіх акваторіях відбулися істотні зміни в іхтіофаунах. За нашими даними, найбільш значні зміни сталися у кримських водах, де показник у відсотках з урахуванням нових та зниклих видів становив 30,1 %. На другому місці знаходяться українські води Азовського моря, тут цей показник досягнув 24,3 %. Найменші зміни, однак, досить високого рівня, спостерігаються в акваторії ПЗЧМ та становлять 15,0 % (табл. 5).

**Таблиця 5. Зміни в іхтіофаунах представників атлантично-середземноморського походження окремих районів морських вод України (в %) з урахуванням нових та зниклих видів**

**Table 5. Changes in the ichthyofauna of representatives of Atlantic–Mediterranean origin in certain areas of marine waters of Ukraine (in %) taking into account alien and extinct fish species**

Показники	Кримські води	ПЗЧМ (українські води)	Азовське море (українські води)
Всього видів	113	80	37
Нових видів-вселенців	29	7	6
Зниклих видів	5	5	3
Зміни в іхтіофаунах (%)	30,1	15,0	24,3

## Підсумки

Аналіз літературних даних і власних матеріалів з оцінки видового багатства показав, що найчисельнішою за кількістю видів, що мають атлантично-середземноморське походження, у водах України є родина бичкових Gobiidae, яка налічує у Криму 17 видів з восьми родів, у водах ПЗЧМ — сім видів з п'яти родів та п'ять видів з чотирьох родів в Азовському морі. Далі за чисельністю йдуть родини собачкових Blenniidae — дев'ять видів з шести родів у Криму, шість видів з чотирьох родів у ПЗЧМ, два види з одного роду в Азовському морі; спарових Sparidae — вісім видів з семи родів у Криму, п'ять видів з трьох родів у ПЗЧМ, один вид в Азовському морі; голкових Syngnathidae — по сім видів з трьох родів у Криму та у ПЗЧМ, п'ять видів з трьох родів в Азовському морі; губаневих Labridae — сім видів з трьох родів у Криму, п'ять видів з двох родів у ПЗЧМ та один вид в Азовському морі; кефалевих Mugilidae — п'ять видів з двох родів у Криму, по три види з двох родів у ПЗЧМ та в Азовському морі; оселедцевих Clupeidae — чотири види з чотирьох родів у Криму, два види з двох родів у ПЗЧМ та в Азовському морі. Інші родини у водах України представлені від одного до трьох видів риб.

Спостерігається чітка динаміка скорочення кількості таксонів від вод Криму до ПЗЧМ та Азову. Максимальне видове багатство риб атлантично-середземноморського походження спостерігається в кримських водах (113 видів, що належать до 82 родів із 49 родин та 18 рядів), таксономічне багатство у цьому районі становить 262 таксонів. У межах вод ПЗЧМ ці показники опускаються до 80, 63, 43 та 17 відповідно, таксономічне багатство також знижується на 25,0 % до 203 таксонів. В українських водах Азовського моря спостерігається різке зниження цих характеристик до 37, 32, 25 та 13 відповідно, кількість видів, родів та таксономічне багатство у цьому районі знижується у два рази.

В межах Азово-Чорноморського басейну найбільш подібною до іхтіофауни Чорного моря виявилась іхтіофауна вод Криму. Коефіцієнт подібності для цих акваторій становить 0,71. Далі за подібністю йдуть фауни Криму та ПЗЧМ (0,68). Дещо менші коефіцієнти подібності за видовим складом мають води Чорного моря загалом до ПЗЧМ (0,50), а також між ПЗЧМ та Азовським морем (0,46). Найменші коефіцієнти подібності мають фауни Азову та Чорного моря (0,23), а також між Азовом та водами Криму (0,33).

З 1970-х років у морських водах України всього виявлено 30 нових видів, що відносяться до 26 родів, 15 родин та 8 рядів. Серед них домінують види, поява яких пов'язана з природним процесом медитерранізації (25 видів, 83,3 %). Види, які проникли за сприянням антропогенних факторів склали 6,7 %, а з не уточненими векторами вселення — 10,0 %. За кількістю нових видів-вселенців найчисленнішими в Чорному морі є представники родин бичкових Gobiidae (9 видів) та спарових Sparidae (6 видів), частина яких складає 50,0 %.

Вектори проникнення нових видів у кримські води практично не відрізняються від таких загалом, поміж них також переважають види, які пов'язані з процесом медитерранізації (24 види, 82,8 %). Види, які проникли за сприянням антропогенних чинників складають 6,9 %, а з не уточненими векторами вселення — 10,3 %. На сучасному етапі із 7 нових видів-вселенців риб, виявлених у водах ПЗЧМ за останні 50 років домінують види, поява яких також пов'язана з природним процесом медитерранізації (4 види, 57,1 %). Для 3 видів (42,9 %) встановити вектор вселення на теперішній час не має можливості. Причому варто зазначити, що значна частина нових видів (~ 70 %), виявлених у цьому районі, раніше зустрічалися у водах Криму, біля Кавказького узбережжя або Туреччини.

На відміну від вод Криму та ПЗЧМ, де частка вселенців зустрічалася також постійно та епізодично, всі види-вселенці Азовського моря, занотовані за останні 50 років відносяться до випадкових, які раніше були звичайними видами Чорного моря та розширили свій ареал при надходженні більш солоних чорноморських вод через Керченську протоку внаслідок скорочення стоку річок Дон і Кубань, спричиненого переважно антропогенними факторами.

З урахуванням нових видів-вселенців, та видів, що зникли у морських водах України за останні роки можна констатувати, що у всіх акваторіях відбулися суттєві зміни в іхтіофаунах. Найбільш значні зміни сталися у кримських водах, де цей показник у відсотках з урахуванням нових та зниклих видів становив 30,1 %. На другому місці знаходяться українські води Азовського моря, тут цей показник досягнув 24,3 %. Найменші зміни, однак, досить високого рівня, спостерігаються в акваторії ПЗЧМ та становлять 15,0 %.

Теоретично можна спрогнозувати, які представники атлантично-середземноморського походження можуть проникнути у Чорне та Азовське моря, Наприклад, з родин скорпенювих — *Pterois miles* (Bennett, 1828), кам'яних окунів Serranidae — *Epinephelus* spp., султанкових Mullidae — *Mullus* spp., *Parupeneus* spp. та ін., але при натуралізації в цьому басейні складно передбачити їх вплив на весь біоценоз загалом.

## Подяки

Автор висловлює щирю вдячність І. Загороднюку та З. Баркасі за допомогу, надану під час підготовки статті, а також рецензентам за цінні поради.

## Декларації

Фінансування. Це дослідження профінансовано Національним науково-природничим музеєм НАН України (№ 0115U000297).

Конфлікт інтересів. Автор не має жодних конфліктів інтересів, які могли б вплинути на зміст цієї статті.

## References

- Anistratenko, V. V., I. A. Khaliman, O. Yu. Anistratenko. 2011. *The Molluscs of the Azov Sea*. Naukova dumka, Kyiv, 1–184. [Russian]
- Bat, L., Y. Erdem, S. U. Tiril, Ö. Yardım, H. H. Satilmis. 2005. A study on the fishes of the Central Black Sea coast of Turkey. *Journal of Black Sea & Mediterranean Environment*, **11**: 281–296.
- Bilecenoğlu, M., M. Kaya, B. Cihangir, E. Cicek. 2014. An updated checklist of the marine fishes of Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, **38**: 901–929. <https://doi.org/10.3906/zoo-1405-60>
- Çinar, M. E., M. Bilecenoğlu, M. B. Yokeş, B. Öztürk, E. Taşkin, [et al.] 2021. Current status (as of end of 2020) of marine alien species in Turkey. *PLOS ONE*, **16** (5): 1–46. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251086>
- Fricke, R., M. Bilecenoğlu, H. M. Sari. 2007. Annotated checklist of fish and lamprey species (Gnathostomata and Petromyzontomorpha) of Turkey, including a Red List of threatened and declining species. *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde A*, **706**: 1–172. <https://www.biodiversitylibrary.org/item/293054>
- Kabasakal, H. 2020. *A Field Guide to the Sharks of Turkish Waters*. Istanbul, Turkey, 1–133. (Series: Turkish Marine Research Foundation (TUDAV); Publication No. 55).
- Keskin, Ç. 2010. A review of fish fauna in the Turkish Black Sea. *Journal of Black Sea & Mediterranean Environment*, **16** (2): 195–210.
- Kessler, K. F. 1877. *The Aralo-Caspian Expedition. IV. Fishes of the Aralo-Caspio-Pontine Ichthyological Region*. St. Petersburg, 1–360. (Trudy Aralo-Kaspiyskoy ekspeditsii; Issue 4). [Russian]

- Manilo, L. 2021. Alien fishes in the Black Sea waters of Crimea (Ukraine) *GEO&BIO*, **20**: 79–101. <http://doi.org/10.15407/gb2010>
- Manilo, L., S. Snigirov, P. Tkachenko, V. Zamorov. 2022. The Atlantic-Mediterranean fish assemblage and alien fishes in the north-western part of the Black Sea within the waters of Ukraine (review for the last 50 years). *GEO&BIO*, **22**: 150–165. [Ukrainian] <http://doi.org/10.15407/gb2212>
- Manilo, L., V. Demchenko. 2022. Alien fish species of Atlantic-Mediterranean origin in the Sea of Azov within the waters of Ukraine (review for the last 50 years). *GEO&BIO*, **23**: 131–142. [Ukrainian] <https://doi.org/10.15407/gb2311>
- Novitskyi, R. O. 2021. *Invasions of alien fish species in the Dnipro reservoirs*. Lyra, Dnipro, 1–280. [Ukrainian]
- Ostroumov, A. 1897. Scientific results of the «Atmanay» expedition. *Proceedings of the Imperial Academy of Sciences (SPb)*, **7** (3): 251–267. [Russian]
- Özdemir, S., U. Özsandıkçı, H. A. Duyar. 2023. Some population parameters of picked dogfish (*Squalus acanthias* L. 1758) incidentally captured in commercial fisheries in southern Black Sea shores and a first record of angular roughshark (*Oxynotus centrina* L. 1758) for Black Sea. *Marine Science and Technology Bulletin*, **12**(4), 483–494. <https://doi.org/10.33714/masteb.1369086>
- Pesenko, Yu. A. 1982. *Principles and Methods of Quantitative Analysis in Faunistic Research*. Nauka, Moskva, 1–286. [Russian]
- Polat, H. 2017. Range expansion of white anglerfish, *Lophius piscatorius* (Linnaeus, 1758) (Lophiidae), in the Eastern Black Sea waters of Turkey. *Yunus Research Bulletin*, **2**: 203–207. <http://doi.org/10.17693/yunusae.v17i27092.292429>
- Puzanov, I. I. 1967. Mediterraneanization of the fauna of the Black Sea and prospects for its strengthening. *Zoologicheskii zhurnal*, **46** (9): 1287–1297. [Russian]
- Turan, C., D. Yağlıoğlu, M. Gürlek, S. A. Doğdu, D. Ergüden, [et al.]. 2023. Existence of *Belone svetovidovi* Collette & Parin, 1970 in the Marmara Sea and Black Sea coasts of Türkiye. *Natural and Engineering Sciences*, **8** (2): 72–81. <http://doi.org/10.28978/nesciences.1331296>
- Ulman, A., M. Zengin, N. Demirel, D. Pauly. 2020. The Lost Fish of Turkey: A Recent History of Disappeared Species and Commercial Fishery Extinctions for the Turkish Marmara and Black Seas. *Frontiers in Marine Science*, **7**: 1–16. <http://doi.org/10.3389/fmars.2020.00650>

# Application of a spatial dataset for monitoring invasive woody plant species in the forests of Transcarpathia, Ukraine

Andriy Mihaly , Vasyl Roman

Uzhhorod National University (Uzhhorod, Ukraine)

## article info

### key words

spatial dataset, GIS, invasive plant species, Transcarpathia, *Robinia pseudoacacia*, *Quercus rubra*.

### correspondence to

Andriy Mihaly; Uzhhorod National University, 14 Universitetska Street, Uzhhorod, 88000, Ukraine; Email: andriy.myhal@uzhnu.edu.ua; orcid: 0000-0002-6319-1516

### article history

Submitted: 31.05.2024. Revised: 20.06.2024. Accepted: 30.06.2024

### cite as

Mihaly, A., V. Roman. 2024. Application of a spatial dataset for monitoring invasive woody plant species in the forests of Transcarpathia, Ukraine. *GEO&BIO*, 26: 135–144. [Ukrainian, with English summary]

## abstract

The paper describes and provides examples of the application of the developed spatial dataset on the spread of invasive woody plant species in the forests of Transcarpathia, Ukraine. The dataset was developed based on forest inventory data using the open source QGIS program, which performed digitisation of forest plantation plans of permanent forest users and overlay analysis. The created dataset contains 4212 records of the distribution of the following invasive woody plant species: black locust (*Robinia pseudoacacia* L.), northern red oak (*Quercus rubra* L.), ash maple (*Acer negundo* L.), and brittle willow (*Salix fragilis* L.). The dataset contains information on the location of forest plots, silvicultural and taxonomic characteristics of stands with predominance and participation of invasive woody plant species. The created spatial dataset was used to study the distribution of invasive woody species of black locust and northern red oak in Transcarpathia by geobotanical and floristic zones. The results of the study showed that the most favourable conditions for the distribution of black locust are the area of beech-oak and oak-beech foothill forests of the Volcanic Range of the Ukrainian Carpathians within Transcarpathia, as well as the Transcarpathian Plain forest area. Unlike the artificially created northern red oak forests, the distribution of the black locust in the study area is primarily due to its biological properties, specifics of environmental relationships and of forestry in the past. Regarding the distribution of the northern red oak, the results of using our spatial dataset show that such forests have the largest portion in the areas of hornbeam-beech and beech forests (39.4%) and in the forests of the Volcanic Ridge (24.2%). The created spatial dataset can be used to study the distribution of invasive woody plant species within the forest cover of Transcarpathia. The spatial dataset can also be utilised as a source of training samples for machine learning, which is involved in the processing of satellite images to identify new habitats of invasive woody plant species.

© 2024 The Author(s); Published by the National Museum of Natural History, NAS of Ukraine on behalf of GEO&BIO. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Licence (CC BY-SA 4.0), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

# Застосування набору просторових даних для моніторингу інвазійних видів деревних рослин у лісах Закарпаття (Україна)

Андрій Мигаль, Василь Роман

**Резюме.** Робота містить характеристику і приклади застосування розробленого набору просторових даних про поширення інвазійних видів деревних рослин на вкритих лісом землях лісового фонду Закарпаття. Набір даних розробили на основі даних інвентаризації лісів із застосуванням відкритої програми QGIS, в якій виконували операції із оцифрування планів лісових насаджень постійних лісокористувачів та оверлейного аналізу. Створений набір даних містить 4212 записів поширення таких інвазійних видів деревних рослин: *Robinia pseudoacacia* L., *Quercus rubra* L., *Acer negundo* L. та *Salix fragilis* L. Набір даних містить відомості щодо місцезнаходження лісових ділянок, лісівничо-таксаційної характеристики деревостанів з переважанням та за участі інвазійних видів деревних рослин. Створений набір просторових даних використали для вивчення поширення інвазійних деревних видів робінії звичайної та дуба червоного на території Закарпаття за геоботанічним та флористичним районуваннями. Результати дослідження показали, що найбільш сприятливими умовами поширення робінії звичайної є район буково-дубових і дубово-букових передгірських лісів Вулканічного хребта Українських Карпат в межах Закарпаття та умови району лісів Закарпатської рівнини. На відміну від дуба червоного, ліси якого створені штучно, поширення робінії звичайної на території досліджень насамперед зумовлено її біологічними властивостями, особливостями екологічної приуроченості та специфікою ведення лісового господарства у минулому. Щодо поширення дуба червоного, результати використання нашого набору просторових даних показують, що такі ліси мають найбільшу площу у районах грабово-букових і букових дубриницько-свалевських лісів (39,4%) та в лісах району Вулканічних Карпат (24,2%). Створений набір просторових даних може використовуватись для дослідження поширення інвазійних видів деревних рослин на землях лісового фонду Закарпаття. Набір просторових даних також може використовуватись як джерело навчальних вибірок для машинного навчання, які задіяні в обробці супутникових знімків на предмет виявлення нових місць оселень інвазійних деревних видів рослин.

Ключові слова: набір просторових даних, ГІС, інвазійні види рослин, Закарпаття, *Robinia pseudoacacia*, *Quercus rubra*.

Адреса для зв'язку: Андрій Мигаль; Ужгородський національний університет, вул. Університетська 14, Ужгород, 88000; Email: andriy.myhal@uzhnu.edu.ua; orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6319-1516>

## Вступ

Протягом останніх десятиліть антропогенна діяльність і зміни клімату призводять до різноманітних трансформацій природних екосистем, внаслідок чого у них відбуваються процеси збіднення та деградації [Didukh *et al.* 2016; Csiszár *et al.* 2020]. Оскільки на території Закарпаття найбільші площі займають лісові екосистеми, котрі, зокрема, відіграють значну роль у формуванні та стабілізації гідрологічного балансу в системі Карпат, збереження і відтворення їх природного стану та біорізноманітності, а також забезпечення їх стабільності та відтворення є дуже важливими завданнями. Серйозну загрозу для функціонування, складу і стабільності лісових екосистем становить укорінення в них видів адвентивних деревних рослин з високим інвазійним потенціалом. Види адвентивних рослин забруднюють генофонд аборигенної флори, сприяють послабленню її зональних рис та зменшенню продуктивності рослинного покриву [Protopopova *et al.* 2003]. Витрати на відшкодування збитків, спричинених біологічними інвазіями, можуть бути на порядок вищими, ніж витрати на управлінські дії (менеджмент) стосовно цих інвазій [Diagne *et al.* 2021]. Для вирішення проблеми негативного впливу інвазійних деревних рослин та забезпечення їй інформаційного супроводу відповідного моніторингу необхідною є інвентаризація інвазійних деревних рослин та лісостанів з їх участю.

На сьогоднішній день у багатьох розвинених країнах світу актуальними та перспективними є підходи до акумуляції різноманітної інформації для сприяння розвитку інформаційних технологій, спільного пошуку рішень та швидкого реагування на нові глобальні виклики.

Що стосується рослинних інвазій, наразі у світі функціонують глобальні бази даних «Global Register of Introduced and Invasive Species» [Pagad *et al.* 2018] та «The Global Invasive Species Database (GISD)» [Poorter *et al.* 2005], які мають вигляд контрольних списків інвазійних видів в розрізі країн світу. На нашу думку, для кращого вивчення самого процесу інвазії в цілому, або конкретних біологічних видів, практичніше використовувати просторову модель даних. Незважаючи на досить великий обсяг локальних наборів просторових даних, у переважній більшості ці набори даних містять накопичену інформацію про трапляння, наприклад, окремих особин виду рослин, яке представлено точкою на мапі. На практиці краще уявлення про поширення рослин дає застосування інтерпретації просторових даних у вигляді полігонів, яке відображає розміщення сукупностей особин певного виду на земній поверхні. Подібні дослідження здійснені в Угорщині [Visztra *et al.* 2023], де вивчали застосування точкових та полігональних даних моніторингу інвазійних видів деревних рослин для визначення впливу гідрологічних, ґрунтових та кліматичних чинників на рослинні інвазії.

Наразі, найбільшим набором просторових даних інвазійних видів рослин є полігональний набір просторових даних «Current Invasive Plants», опублікований Лісовою службою США [Current ... 2022], який містить понад 875 тисяч записів. Подібні дані найчастіше використовуються для машинного навчання, завданням якого є обробка супутникових знімків на предмет динаміки площі вкриття досліджуваних видів по території, вивчення проходження їх фенологічних фаз та впливу різноманітних чинників на стан інвазійної рослинності [Pasha *et al.* 2014; César de Sá *et al.* 2017; Martin-Gallego *et al.* 2020]. Останні дослідження показують, що все частіше практикується вивчення процесів інвазії деревних видів рослин за допомогою супутникових знімків з використанням методів машинного навчання, де полігональні шари, виступають у ролі навчальних вибірок [Labonté 2020; Crisigiovanni 2021].

Таким чином, метою наших досліджень є розробка і застосування багатофункціонального набору просторових даних для вивчення поширення інвазійних видів деревних рослин на землях лісового фонду.

## Матеріали та методи

Створення набору просторових даних про поширення інвазійних видів деревних рослин виконували за допомогою такого програмного забезпечення: QGIS — при роботі з просторовою та атрибутивною інформацією, Access, Excel, Word — при обробці та структуризації даних. Векторні шари меж таксаційних виділів створено на основі оцифрованих планів лісових насаджень, прив'язку яких виконували до Публічної кадастрової карти України в проекції WGS 84/Pseudo-Mercator (ESPG: 3857).

Для наповнення векторних шарів атрибутивною інформацією використовувались матеріали останнього базового лісовпорядкування лісового фонду постійних лісокористувачів які підпорядковані Державному агентству лісових ресурсів України: плани лісових насаджень (2011 рік), таксаційні описи (2011, 2021 роки), повидільна база даних «Лісовий фонд України» (2011 рік). Плани лісових насаджень, які є основою просторових даних, завантажено із офіційного веб-сайту ВО «Укрдержліспроект», які на час створення набору даних знаходились у відкритому доступі. Також, зауважимо, що на оприлюднених планах лісових насаджень не відображено зміни площ лісового фонду постійних лісокористувачів у результаті неодноразових реорганізацій у галузі лісового господарства. Таким чином, нашим дослідженням не охоплено лісовий фонд таких постійних лісокористувачів (назви користувачів наводяться за період до проведення реформи з укрупнення лісогосподарських підприємств): Карпатський біосферний заповідник, НПП «Синевир», НПП «Ужанський», ДП «Іршавське ЛГ», Липчанське навчально-виробниче лісництво, території колишніх лісоагрозприємств (Мукачівське, Перечинське, Свалявське та ін.) і Ужгородське військове лісництво, на території яких зростає значна частина лісових насаджень з переважанням робінії звичайної та дуба червоного.

Наведені вище джерела інформації є валідними і можуть використовуватись при здійсненні спеціальних досліджень лісового рослинного покриву. Особливо це стосується таких показників як склад лісових насаджень, середній вік, відносна повнота, оскільки отримання таких даних і їх точність регламентована чинними інструктивно-методичними матеріалами<sup>1</sup>.

Атрибутивні дані для векторних шарів формували в окремих таблицях за допомогою СКБД Access. Оскільки виникла потреба в об'єднанні даних між окремими таблицями, для кожної з них були створені первинні ключі, які містили дані про лісогосподарське підприємство, лісництво, номери кварталу та виділу. Первинний ключ являє собою унікальне числове значення, розраховане для кожного запису за такою формулою:

$$P_{\text{key}} = (LG \cdot 1000000) + (FR \cdot 100000) + (KV \cdot 1000) + VD, \quad (1)$$

де:  $P_{\text{key}}$  — первинний ключ; LG — поле, що містить шифр лісогосподарського підприємства; FR — номер лісництва у структурі лісогосподарського підприємства; KV — номер кварталу; VD — номер виділу.

Щоб продемонструвати застосування створеного набору даних, було досліджено поширення лісів з переважанням та за участю у складі *Robinia pseudoacacia* L. та *Quercus rubra* L. за геоботанічним [Holubets 2003] та флористичним [Чорук 1969] районуванням Українських Карпат у межах Закарпатської області. Для цього окремо оцифрували карту-схему геоботанічного та флористичного районувань Українських Карпат, і використовуючи алгоритм «приєднати атрибут за місцем розташування» встановлювали приуроченість кожної лісової ділянки до певного району. Також можна використовувати алгоритм «Overlap analysis» [QGIS 2024], який доступний у бібліотеці QGIS.

Створений набір даних містить інформацію про інвазійні види деревних рослин внесені до Переліку інвазійних видів рослин в Закарпатській області [List ... 2017; Shevera *et al.* 2017]. Виключенням є дуб червоний, який не входить до згаданого вище переліку, але на думку ряду дослідників має статус потенційного агресора [Zavialova 2017; Protopopova & Shevera 2019; Nayda *et al.* 2022; Kucher *et al.* 2023].

## Результати

Представлений набір даних складається з окремих векторних шарів для таких видів деревних рослин: робінія звичайна (*R. pseudoacacia*), дуб червоний (*Q. rubra*), клен ясенolistий (*Acer negundo* L.) та верба ламка (*Salix fragilis* L.). Векторні шари доступні за двома типами геометрії: полігональні та точкові (центроїди полігонів) об'єкти. Перелік атрибутивних даних векторних шарів наведено у таблиці 1.

Таблиця 1. Структура даних векторних шарів

Table 1. Data structure of vector layers

№	Назва поля	Опис поля	Од.	№	Назва поля	Опис поля	Од.
1	CODE_ID	Розрахунковий індекс на основі даних полів LG, FR, KV, VD		10	NAME_UKR	Таксон (укр.)	
2	LG	Шифр лісогосподарського підприємства		11	NAME_LAT	Таксон (лат.)	
3	NAME_LG	Назва лісогосподарського підприємства		12	FRACTION	Участь у складі	%
4	FR (forestry)	Шифр лісництва		13	AGE	Середній вік	роки
5	NAME_FR	Назва лісництва		14	H	Середня висота	м
6	KV	Номер кварталу		15	D	Середній діаметр	см
7	VD	Номер виділу		16	P	Відносна повнота	
8	AREA	Площа	га	17	TL	Індекс типу лісу	
9	COMPOSIT	Склад насадження		18	ELEVATION	Висота над рівнем моря	м
				19	EXPOSITION	Експозиція схилу	
				20	SLOPE	Крутизна схилу	град
				21	TAX YEAR	Рік таксації	роки

<sup>1</sup> Інструктивно-методичні вказівки з ведення лісовпорядкування. Ірпінь, 2022. URL

Як бачимо, набір даних містить 21 поле. Кожен унікальний запис відповідає конкретно-му таксаційному виділу і містить інформацію щодо організаційно-господарського положення лісової ділянки в структурі лісового фонду області (лісгосп, лісництво, квартал, виділ), а також деякі лісівничо-таксаційні показники лісових насаджень, у складі яких досліджувані види домінують або виступають у ролі домішки: склад насадження, участь у складі, тип лісу, середній вік, висота та діаметр. Набір даних також містить відомості щодо деяких орографічних чинників — висота над рівнем моря, експозиція та крутизна схилу. Для кожного запису було створено первинний ключ (CODE\_ID), який розрахований на основі шифрів лісгосподарських підприємств та лісництв, номерів кварталу та виділу. Такі ключі, за потреби, дозволяють змінювати структуру набору даних, доповнюючи його новою інформацією. Фрагмент атрибутивних даних у середовищі QGIS зображено на рис. 1.

Загалом набір даних містить інформацію про просторове розміщення лісів з переважанням або у якості домішки у складі деревостану: робінії звичайної — 1505 таксаційних виділів, дуба червоного — 1257 виділів, клена ясенolistого — 130 виділів, верби ламкої — 1320 виділів (рис. 2).

CODE_ID	LG	NAME_LG	FK	NAME_FK	KV	VD	AREA	COMPOSITE	NAME_UKR	NAME_LAI	FRAC100N
58	13217003100029	ДП "ВЕЛИКОБ...	9	Верхньоводян...	20	29	1.2	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
59	13217003230039	ДП "ВЕЛИКОБ...	9	Верхньоводян...	33	39	1.3	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
60	13217005710014	ДП "ДОВЖАН...	6	Загатське	11	14	0.3	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
61	13217005710045	ДП "ДОВЖАН...	6	Загатське	11	45	0.6	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
62	13217005750001	ДП "ДОВЖАН...	6	Загатське	15	1	1.6	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
63	13217005690009	ДП "ДОВЖАН...	6	Загатське	9	9	0.9	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
64	13217005850016	ДП "ДОВЖАН...	6	Загатське	25	16	4.3	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
65	13217009760017	ДП "МУКАЧІВ...	5	Мукачівське	26	17	4.2	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
66	13217009600006	ДП "МУКАЧІВ...	5	Мукачівське	10	6	1.0	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
67	13217009740002	ДП "МУКАЧІВ...	5	Мукачівське	24	2	1.4	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
68	13217009770006	ДП "МУКАЧІВ...	5	Мукачівське	27	6	1.0	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
69	13217009880028	ДП "МУКАЧІВ...	5	Мукачівське	38	28	0.3	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
70	13217012610013	ДП "СВАЛЯВС...	4	Свалявське	21	13	0.7	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
71	13217013640036	ДП "УЖГОРОД...	3	Анталовецьке	34	36	0.8	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
72	13217013860023	ДП "УЖГОРОД...	3	Анталовецьке	56	23	2.1	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
73	13217013870014	ДП "УЖГОРОД...	3	Анталовецьке	57	14	8.7	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
74	13217013860012	ДП "УЖГОРОД...	3	Анталовецьке	56	12	3.4	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
75	13217013880003	ДП "УЖГОРОД...	3	Анталовецьке	58	3	4.5	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10
76	13217013880004	ДП "УЖГОРОД...	3	Анталовецьке	58	4	5.9	10АКБ	Робінія звичайна	Robinia pseudoacacia L.	10

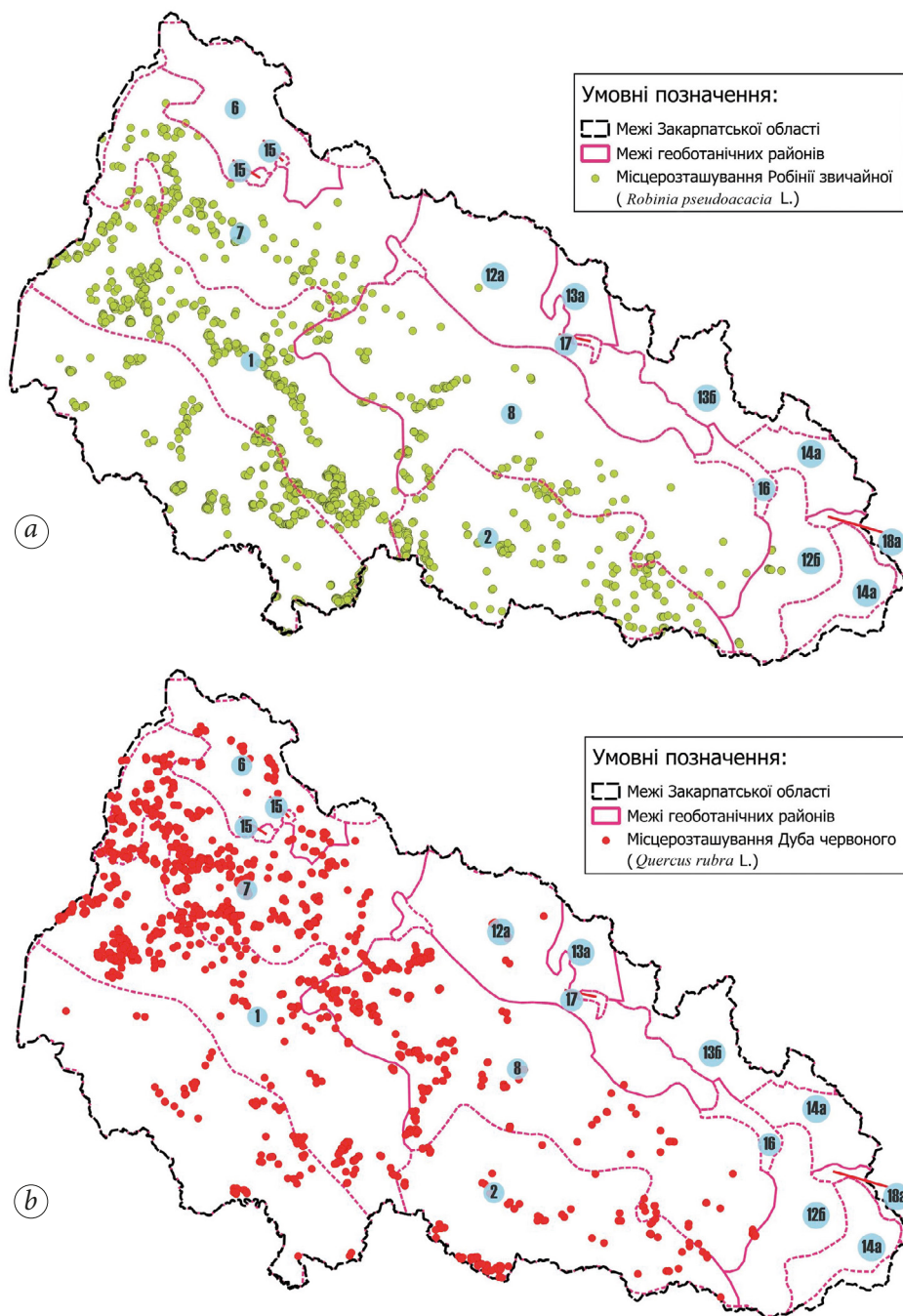
Рис. 1. Фрагмент атрибутивних даних у середовищі QGIS.

Fig. 1. Fragment of attribute data in QGIS environment.



Рис. 2. Приклад фотофіксації *Robinia pseudoacacia* (a) та *Quercus rubra* (b) на досліджуваних ділянках (Ужгородське лісництво).

Fig. 2. An example of photographic recordings of *Robinia pseudoacacia* (a) and *Quercus rubra* (b) in the study areas (Uzhhorodske forestry).

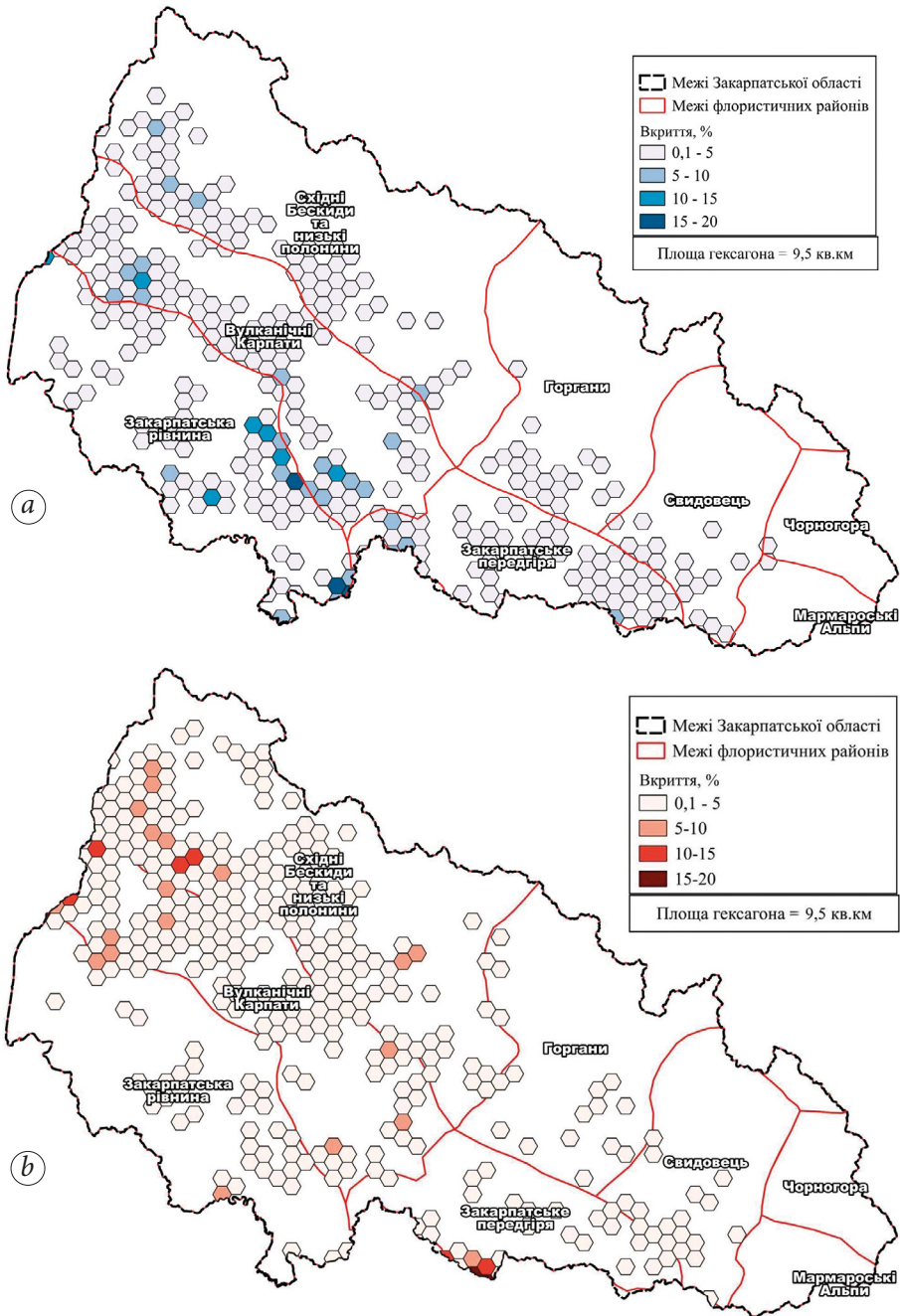


**Рис 3.** Просторове розміщення *Robinia pseudoacacia* (a) та *Quercus rubra* (b) у лісах Закарпаття за геоботанічним районуванням.

**Fig. 3.** Spatial distribution of *Robinia pseudoacacia* (a) and *Quercus rubra* (b) in the forests of Transcarpathia by geobotanical zones.

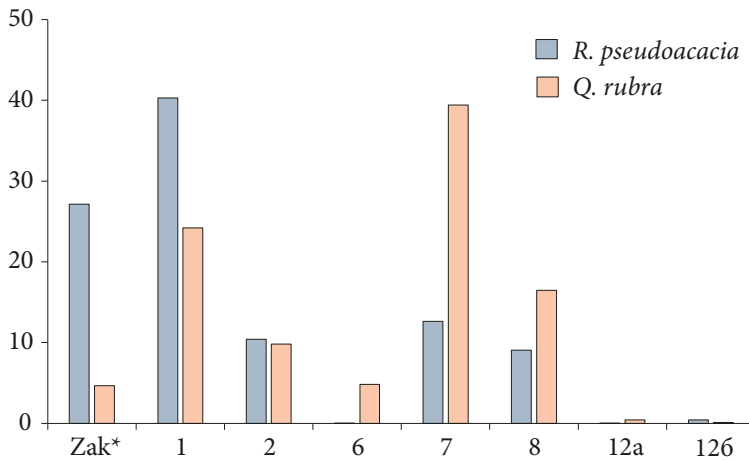
**Номери геоботанічних районів:** 1 — район буково-дубових і дубово-букових лісів Вулканічного хребта, 2 — район дубово-букових і буково-дубових лісів Хустсько-Солотвинської улоговини, 6 — район ялицево-букових верхньо-ужоцьких лісів, 7 — район грабово-букових і букових дубриницько-свалівських лісів, 8 — район букових лісів південного мегасхилу Полонинського хребта, 12 — район смереково-буково-ялицевих і смереково-букових закарпатських лісів з підрайонами: 12a — Міжгірським і 12б — Рахівським, 13 — район смерекових горганських лісів з підрайонами: 13a — ялицево-буково-смерекових горганських лісів, 13б — смерекових вододільно-горганських лісів, 14 — район смерекових чорногірсько-мармарошських лісів з підрайонами: 14a — буково-ялицево-смерекових верхньотиських лісів, 14б — ялицево-буково-смерекових ворохтянсько-путильських лісів, 15 — район низькогірних полонин, 18a — Чорногірсько-Гринявський підрайон району сланких гірськососнин у поєднанні з душекєвниками, рододендронниками, субальпійськими та альпійськими луками чорногірсько-мармарошського високогір'я.

Як приклад наводимо результат аналізу поширення у лісах робінії звичайної та дуба червоного за допомогою створеного набору даних. За допомогою QGIS було створено карти поширення досліджуваних видів деревних рослин у лісах Закарпаття з використанням шарів «Геоботанічне районування Українських Карпат» (рис. 3) та «Флористичне районування Українських Карпат» (рис. 4). Для кращої візуалізації використовували шар центроїдів, сформований з полігонального шару. Зведені дані щодо поширення робінії звичайної та дуба червоного у лісах Закарпаття наведено на рис. 5.



**Рис. 4.** Просторове розміщення *Robinia pseudoacacia* (a) та *Quercus rubra* (b) у лісах Закарпаття за флористичним районуванням.

**Fig. 4.** Spatial distribution of *Robinia pseudoacacia* (a) and *Quercus rubra* (b) in the forests of Transcarpathia by floristic zones.



**Рис. 5.** Зведені дані щодо поширення *Robinia pseudoacacia* (ліворуч) та *Quercus rubra* (праворуч) у лісах Закарпаття (за площею). Вісь абсцис — просторові одиниці: Zak — Закарпатська рівнина (за флористичним районуванням), 1–12 — геоботанічні райони як на рис. 3; вісь ординат — площа (%).

**Fig. 5.** Summary data on the distribution of *Robinia pseudoacacia* (left) and *Quercus rubra* (right) in the forests of Transcarpathia. Abscissa axis—spatial units: Zak—Transcarpathian Plain (by floristic zones), 1–12— numbers of geobotanical regions as in Fig. 3; ordinate axis—area (%).

Оверлейний аналіз (див. рис. 5) показує, що робінія звичайна на території Закарпаття найбільш поширена в районах буково-дубових і дубово-букових передгірських лісів Вулканічного хребта — 40,3% та на Закарпатській рівнині (за флористичним районуванням) — 27,1%. Встановлене значне поширення робінії звичайної у районах дубово-букових і буково-дубових лісів Хустсько-Солотвинської улоговини, грабово-букових і букових дубриницько-свалявських лісів та букових лісах південного мегасхилу Полонинського хребта, частка яких становить від 9,5% до 14%. Найменше поширення (до 0,5%) відмічене в районі ялицево-букових верхньоужоцьких лісах та в Міжгірському та Рахівському підрайонах району смереково-ялицево-букових, смереково-буково-ялицевих і смереково-букових закарпатських лісів. Отже, найбільш оптимальними для робінії звичайної є умови місцезростань до висоти 600 м, а за інформацією цього набору даних, максимальна висота, де у складі трапляється робінія звичайна, становить 950 м.

На відміну від дуба червоного, поширення робінії звичайної у лісах Закарпаття зумовлене її біологічними властивостями [Bartha 1999; Cierjacks *et al.* 2013; Vítková *et al.* 2017], особливостями екологічної приуроченості та специфікою ведення лісового господарства у минулому (проблеми організації управління лісогосподарським виробництвом та відмінності у підходах різних підприємств до ведення лісового господарства) [Kichura & Kichura 2017]. Натомість, ліси з переважанням дуба червоного є виключно штучно створеними лісами [Ivchenko 2002]. Як показують результати дослідження з використанням нашого набору просторових даних, такі ліси мають найбільшу площу у районах грабово-букових і букових дубриницько-свалявських лісів (39,4%) та в лісах району Вулканічних Карпат (24,2%). У районі рівнинних лісів насадження дуба червоного поширені менше (усього 4,7% від загальної площі). Як і робінія, дуб червоний найменш поширений у Міжгірському та Рахівському підрайонах району смереково-ялицево-букових, смереково-буково-ялицевих і смереково-букових закарпатських лісів та в районі ялицево-букових верхньоужоцьких лісів.

Отже, застосування інтерпретації просторових даних у вигляді полігонів, яке відображає розміщення сукупностей особин певного виду на земній поверхні дає на практиці краще уявлення про поширення рослин. Функціональні можливості розробленого набору даних дозволяють у поєднанні з іншими відкритими даними (спутникові знімки, кліматичні показники тощо) використовувати його для машинного навчання, встановлювати просторові закономірності поширення видів, будувати якісні математичні моделі тощо.

Створений набір даних розміщений на персональному комп'ютері кафедри лісівництва ДВНЗ «Ужгородський національний університет», і за потреби доступний за запитом до авторів.

## Висновки

Застосування інтерпретації просторових даних у вигляді полігонів, яке відображає розміщення сукупностей особин певного виду на земній поверхні дає на практиці краще уявлення про поширення рослин.

Розроблений набір просторових даних містить широкий набір інформації: організаційно-господарського положення кожної лісової ділянки в структурі лісового фонду, склад насадження, участь у складі, тип лісу, середній вік, висота та діаметр та ряд даних щодо орографічних чинників. До складу набору даних входить інформація про просторове розміщення лісів з переважанням або у якості домішки у складі деревостану: робінії звичайної — 1505 таксаційних виділів, дуба червоного — 1257 виділів, клена ясенolistого — 130 виділів, верби ламкої — 1320 виділів.

Функціональні можливості розробленого набору даних дозволяють у поєднанні з іншими відкритими даними (спутникові знімки, кліматичні показники тощо) використовувати його для машинного навчання, встановлювати просторові закономірності поширення видів, будувати якісні математичні моделі тощо. Окрім цього, створений набір даних може використовуватись для оптимізації планування наукових досліджень.

З метою удосконалення набору просторових даних у подальшому передбачена регулярна актуалізація існуючого набору даних, із включенням інформації щодо поширення інвазійних видів деревних рослин на територіях об'єктів природно-заповідного фонду. В найближчій перспективі, на основі цих даних з'явиться можливість розробки окремої геоінформаційної системи.

## Подяки

Автори вдячні І. Загороднюку за цінні поради, а також анонімним рецензентам рукопису за важливі коментарі та слухні зауваження.

## Декларації

Фінансування. Це дослідження було виконано в рамках авторської ініціативи, поза грантовими чи бюджетними темами.

Конфлікт інтересів. Автори не мають жодних конфліктів інтересів, які могли б вплинути на зміст цієї статті.

## References

- Bartha, D. 1999. *Magyarország fa- és cserjefajai*. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 1–302.
- César de Sá, N., S. Carvalho, P. Castro, E. Marchante, H. Marchante. 2017. Using Landsat Time Series to Understand How Management and Disturbances Influence the Expansion of an Invasive Tree. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, **10** (7): 3243–3253. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2017.2673761>
- Chopyk, V. I. 1969. Floristic zoning of the Ukrainian Carpathians. *Ukrainian Botanical Journal*, **26** (4): 3–16. [Ukrainian]
- Cierjacks, A., I. Kowarik, J. Joshi, S. Hempel, M. Ristow, M. von der Lippe, M. E. Weber. 2013. Biological flora of the British isles: *Robinia pseudoacacia*. *Journal of Ecology*, **101**: 1623–1640. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12162>
- Crisigiovanni, E. L., A. F. Filho, V. A. Pesck, et al. 2021. Potential of machine learning and WorldView-2 images for recognizing endangered and invasive species in the Atlantic Rainforest. *Annals of Forest Science*, **78**: 54. <https://doi.org/10.1007/s13595-021-01070-3>
- Csiszár, Á., P. Kézdy, M. Korda, D. Bartha. 2020. Occurrence and management of invasive alien species in Hungarian protected areas compared to Europe. *Folia Oecologica*, **47** (2): 178–191. <https://doi.org/10.2478/foecol-2020-0021>
- Current Invasive Plants (Feature Layer). 2022. U.S. Forest Service — Geospatial Data Discovery. <https://data-usfs.hub.arcgis.com/datasets/usfs::current-invasive-plants-feature-layer/about>
- Diagne, C., B. Leroy, A. Vaissière, R. Gozlan, D. Roiz, et al. 2021. High and Rising Economic Costs of Biological Invasions Worldwide. *Nature*, **592**: 571–576. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03405-6>
- Didukh, Y. P., I. I. Chorney, V. V. Budzhak, et al. 2016. *Climatogenic Changes of Plant Life of the Ukrainian Carpathians*. DrukArt, Chernivtsi, 1–280. [Ukrainian]

- Hayda, Y., V. Mohytych, D. Bidolakh, V. Kuzovych, M. Sułkowska. 2022. The introduction of red oak (*Quercus rubra* L.) in Ukrainian forests: advantages of productivity versus disadvantages of invasiveness. *Folia Forestalia Polonica*, **64** (4): 245–252. <https://doi.org/10.2478/ffp-2022-0023>
- Holubets, M. A. 2003. Geobotanical division of the Ukrainian Carpathians — a basis of rational natural use. *Proceedings of the Scientific Society named after Shevchenko*, **12**: 283–292. [Ukrainian]
- Ivchenko, A. I. 2002. History of the introduction of *Quercus rubra* L. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, **12** (4): 93–97.
- Kichura, V. P., A. V. Kichura. 2017. The problem of productivity of forest stands of former collective agricultural enterprises in Transcarpathian region. *Lisivnytstvo i ahrolisomelioratsiia*, **130**: 61–69. Retrieved from <https://forestry-forestmelioration.org.ua/index.php/journal/article/view/82>
- Kucher, O., Y. Didukh, N. Pashkevych, L. Zavalova, Y. Rozenblit, O. Orlov, M. Shevera, 2023. The impact of northern red oak (*Quercus rubra*; Fagaceae) on the forest phytodiversity in Ukraine. *Ukrainian Botanical Journal*, **80** (6): 453–468. [Ukrainian] <https://doi.org/10.15407/ukrbotj80.06.453>
- Labonté, J., G. Drolet, J.-D. Sylvain, N. Thiffault, F. Hébert, F. Girard. 2020. Phenology-Based Mapping of an Alien Invasive Species Using Time Series of Multispectral Satellite Data: A Case-Study with Glossy Buckthorn in Québec, Canada. *Remote Sensing*, **12** (6): 922. <https://doi.org/10.3390/rs12060922>
- List... 2017. *List of Invasive Plant Species in Transcarpathian Region*. Approved by the Solution of the Transcarpathian RSA from 23.03.2017 year No. 721. [Ukrainian] <https://ips.ligazakon.net/document/ZA170092>
- Martin-Gallego, P., P. Aplin, C. Marston, A. Altamirano, A. Pauchard. 2020. Detecting and modelling alien tree presence using Sentinel-2 satellite imagery in Chile's temperate forests, *Forest Ecology and Management*, **474**, 118353. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118353>
- Pagad, S., P. Genovesi, L. Carnevali, D. Schigel, M. McGeoch. 2018. Introducing the Global Register of Introduced and Invasive Species. *Scientific Data*, **5** (1). <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.202>
- Pasha, S. V., K. V. Satish, C. S. Reddy, et al. 2014. Satellite image based quantification of invasion and patch dynamics of mesquite (*Prosopis juliflora*) in Great Rann of Kachchh, Kachchh Biosphere Reserve, Gujarat, India. *Journal of Earth System Science*, **123**: 1481–1490. <https://doi.org/10.1007/s12040-014-0486-0>
- Poorter, M. D., M. Browne, D. V. Alford, G. F. Backhaus. 2005. *The Global Invasive Species Database (GISD) and International Information Exchange: Using Global Expertise to Help in the Fight Against Invasive Alien Species*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:82086952>
- Protopopova, V. V., M. V. Shevera. 2019. Invasive species in the flora of Ukraine. I. The group of highly active species. *GEO&BIO*, **17**: 116–135. [Ukrainian] <https://doi.org/10.15407/gb.2019.17.116>
- Protopopova, V. V., S. L. Mosyakin, M. V. Shevera. 2003. The impact of adventive plant species on the phytobiota of Ukraine. In: *Assessment and ways to reduce threats to biodiversity in Ukraine*. Chimdzhest, Kyiv, 129–155. [Ukrainian]
- QGIS User Guide, [https://docs.qgis.org/3.34/en/docs/training\\_manual/index.html](https://docs.qgis.org/3.34/en/docs/training_manual/index.html)
- Shevera, M. V., V. V. Protopopova, D. E. Tomenchuk, E. J. Andrik, R. Y. Kish. 2017. The first official regional list of invasive species of Transcarpathia in Ukraine. *Visnik Nacionalnoi akademii nauk Ukraini*, **10**: 53–61. [Ukrainian] <https://doi.org/10.15407/visn2017.10.053>
- Visztra, G. V., K. Frei, A. A. Hábcenyus, A. Soóky, Z. Bátor, et al. 2023. Applicability of point- and polygon-based vegetation monitoring data to identify soil, hydrological and climatic driving forces of biological invasions—a case study of *Ailanthus altissima*, *Elaeagnus angustifolia* and *Robinia pseudoacacia*. *Plants*, **12** (4): 855. <https://doi.org/10.3390/plants12040855>
- Vítková, M., J. Müllerová, J. Sádlo, J. Pergl, P. Pyšek. 2017. Black locust (*Robinia pseudoacacia*) beloved and despised: A story of an invasive tree in Central Europe, *Forest Ecology and Management*, **384**: 287–302. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.057>
- Zavalova, L. V. 2017. The most harmful invasive plant species for native phytodiversity of protected areas of Ukraine. *Biological systems*, **9** (1): 87–107. [Ukrainian] <https://doi.org/10.31861/biosystems2017.01.087>

# Bathymetry modelling of the eastern Tendrivska Bay (Ukraine) using Sentinel-2 remote sensing data

Yurii Moskalenko

Black Sea Biosphere Reserve, NAS of Ukraine (Hohly Prystan, Ukraine)

## article info

### key words

Tendrivska Bay, bathymetry, remote sensing data, relief, regression analysis.

### correspondence to

Yurii Moskalenko; Black Sea Biosphere Reserve, NAS of Ukraine; 1 Lermontova Street, Hohly Prystan, 75600 Ukraine; Email: [strix@strix.ks.ua](mailto:strix@strix.ks.ua); orcid: 0000-0002-9121-7832

### article history

Submitted: 17.04.2024. Revised: 17.06.2024. Accepted: 30.06.2024

### cite as

Moskalenko, Y. 2024. Bathymetry modelling of the eastern Tendrivska Bay (Ukraine) using Sentinel-2 remote sensing data. *GEO&BIO*, 26: 145–159. [Ukrainian, with English summary]

## abstract

The aim of the study was to create a bathymetric model of the eastern Tendrivska Bay based on Sentinel-2 remote sensing data. For this purpose, the method of log-transformed spectral band ratios was used. Initially, cloud-free Sentinel-2 scenes from 28 dates in 2015–2018 were selected for the study. The preliminary processing of remote sensing data included atmospheric correction using the DSF (Dark Spectrum Fitting) algorithm, clipping to the region of interest, and merging identical visible spectrum bands from two adjacent tiles that fully covered the eastern Tendrivska Bay. High-frequency noise was removed by applying a 7×7 pixel window median filter to each band. In the final stage of remote sensing data preparation, the log-transformed spectral band ratios were calculated and exported to raster files using a mask that clipped the final images to the bay boundaries. The study calculated and evaluated three types of models: BG (blue to green bands log-ratio), BR (blue to red bands log-ratio), and GR (green to red bands log-ratio). Field depth measurements from 79 sites were used to train the models through regression analysis. Model validation was performed using multiple k-fold cross-validation. The BR and GR models showed the best results for bathymetric modelling of the eastern Tendrivska Bay. In contrast, BG models were unsuitable due to their low accuracy. The final bathymetric model of the eastern Tendrivska Bay was obtained by averaging 12 individual models (7 BR and 5 GR models) that showed the best results in the regression analysis. The spatial variation of the model's vertical accuracy, assessed by the standard deviation raster, indicated that vertical accuracy was slightly lower for relatively deep areas and areas with intensive water dynamics. This is due to the greater variability in water transparency in such areas. Overall, the obtained bathymetric model is characterised by high spatial resolution and vertical accuracy, making it suitable for geomorphological studies. It will also be useful as a spatial variable for modelling the distribution of aquatic organisms and waterfowl in the bay using machine learning methods. The experience of creating a bathymetric model for the eastern Tendrivska Bay showed that this method is quite simple and accessible, allowing it to be recommended for modelling the seabed topography of other shallow water bodies.

© 2024 The Author(s); Published by the National Museum of Natural History, NAS of Ukraine on behalf of GEO&BIO. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Licence (CC BY-SA 4.0), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

# Батиметричне моделювання східної частини Тендрівської затоки з використанням даних дистанційного зондування Sentinel-2

Юрій Москаленко

**Резюме.** Метою дослідження було створення батиметричної моделі східної частини Тендрівської затоки на основі даних дистанційного зондування Sentinel-2. Для цього використали метод відношення лог-трансформованих спектральних каналів. На попередньому етапі для дослідження відібрали безхмарні сцени Sentinel-2 за 28 дат 2015–2018 рр. Попередня обробка даних дистанційного зондування включала атмосферну корекцію за алгоритмом DSF (Dark Spectrum Fitting), їх обрізання за регіоном інтересу та об'єднання ідентичних каналів видимого діапазону з двох сусідніх тайлів, які повністю охоплювали всю площу східної частини Тендрівської затоки. Високочастотний шум видалили шляхом застосування медіанного фільтра із розміром вікна 7x7 пікселів для кожного каналу. На останньому етапі підготовки даних дистанційного зондування розрахували відношення лог-трансформованих спектральних каналів та експортували їх у растрові файли із застосуванням маски, яка обрізувала кінцеві зображення по межі затоки. У дослідженні розрахували й оцінили три типи моделей: BG (відношення логарифмів синього та зеленого каналів), BR (відношення логарифмів синього та червоного каналів) та GR (відношення логарифмів зеленого та червоного каналів). Для тренування моделей, яке здійснили шляхом регресійного аналізу, використали польові дані вимірювань глибини на 79 станціях. Валідацію оцінок регресійних моделей виконали шляхом багаторазової перехресної перевірки методом k-блоків. Найкращі результати для батиметричного моделювання східної частини Тендрівської затоки у дослідженні показали моделі типів BR та GR. Навпаки, моделі типу BG виявилися непридатними для цієї мети через їх низьку точність. Кінцеву батиметричну модель східної частини Тендрівської затоки отримали шляхом усереднення 12 окремих моделей (7 моделей типу BR та 5 моделей типу GR), які показали найкращі результати в регресійному аналізі. Оцінка просторової варіації вертикальної точності моделі, яку здійснили за растром стандартного відхилення, показала, що для порівняно глибоких частин акваторії та для ділянок з інтенсивною динамікою вод вертикальна точність є дещо меншою. Це зумовлено більшою мінливістю прозорості водної товщі в таких ділянках. Загалом отримана батиметрична модель характеризується високою просторовою роздільністю та вертикальною точністю, що дозволяє використовувати її в геоморфологічних дослідженнях. Також вона буде корисною як просторова змінна для моделювання просторового поширення в затоці гідробіонтів та водоплавних птахів методами машинного навчання. Досвід побудови батиметричної моделі для східної частини Тендрівської затоки показав, що цей метод є досить простим і доступним, що дозволяє рекомендувати його для моделювання рельєфу дна інших мілководних водойм.

Ключові слова: Тендрівська затока, батиметрія, дані дистанційного зондування, рельєф, регресійний аналіз.

Адреса для зв'язку: Юрій Москаленко; Чорноморський біосферний заповідник НАН України; вул. Лермонтова 1, Гола Пристань, 75600 Україна; Email: strix@strix.ks.ua; orcid: 0000-0002-9121-7832

## Вступ

Батиметричні дані з високою роздільністю допомагають вирішувати широкий спектр завдань — як суто теоретичних (наприклад, пов'язаних з геоморфологічними дослідженнями, вивченням процесів седиментації, динаміки вод тощо [Klemas 2011]), так і практичних (наприклад, пов'язаних з безпекою судноплавства, рибним промислом, менеджментом прибережних регіонів тощо [Caballero & Stumpf 2019; Caballero & Stumpf 2020]). Непересічне значення ці дані мають в екологічних дослідженнях, адже глибина водойми та рельєф дна є потужними детермінуючими абіотичними факторами. Так, разом з іншими змінними середовища батиметрія водойм може бути використана як для моделювання поширення як окремих видів гідробіонтів, так і бентосних спільнот, просторового розподілу водоплавних птахів тощо [Lavers *et al.* 2014, Reiss *et al.* 2015].

Метою роботи була побудова батиметричної моделі з високою роздільністю для східної частини Тендрівської затоки на основі даних дистанційного зондування (ДДЗ).

Простий спосіб отримання батиметричних мап мілководних водойм за ДДЗ, що отримав назву методу відношення лог-трансформованих спектральних каналів (log-transformed band ratio model), запропонував Р. Стумпф зі співавторами [Stumpf 2003; Casal 2019]. Основою їхнього підходу є закон Бугера-Ламберта-Бера, відповідно до якого, з одного боку, інтенсивність поглинання випромінювання видимого діапазону зі збільшенням товщі води зростає експоненційно і, з іншого, — випромінювання з більшою довжиною хвилі поглинається водою інтенсивніше, ніж випромінювання з меншою довжиною хвилі. З цього закону випливає лінійна залежність між глибиною водойми та відношенням логарифму інтенсивності відбитого від водойми світла одного частотного діапазону до логарифму інтенсивності відбитого світла іншого частотного діапазону, яку можна описати формулою [Stumpf 2003; Caballero & Stumpf 2020]:

$$Z = m_0 + m_1 \rho SDB \quad (1)$$

де  $Z$  — глибина (у метрах);  $m_0$  та  $m_1$  — відповідно, вільний член лінійної функції та кутовий коефіцієнт, а  $\rho SDB$  — відносна глибина, що є безрозмірною величиною, яка обчислюється за формулою:

$$\rho SDB = \frac{\ln(nR_w(\lambda_i))}{\ln(nR_w(\lambda_j))} \quad (2)$$

де  $n$  — константа для уникнення від'ємних значень логарифму,  $R_w(\lambda_i)$  — інтенсивність відбиття від водойми випромінювання з довжиною хвилі  $i$ ,  $R_w(\lambda_j)$  — інтенсивність відбиття від водойми випромінювання з довжиною хвилі  $j$ .

Важливою рисою цього методу є те, що в ньому відсутня необхідність враховувати альbedo дна водойми. Це зумовлено тим, що відбивна здатність дна в одній і тій же точці впливає на інтенсивність відбиття випромінювання з різною довжиною хвилі приблизно однаково, через що значення  $\rho SDB$  у ділянках з різним альbedo, але з однаковою глибиною є сталою величиною [Stumpf 2003].

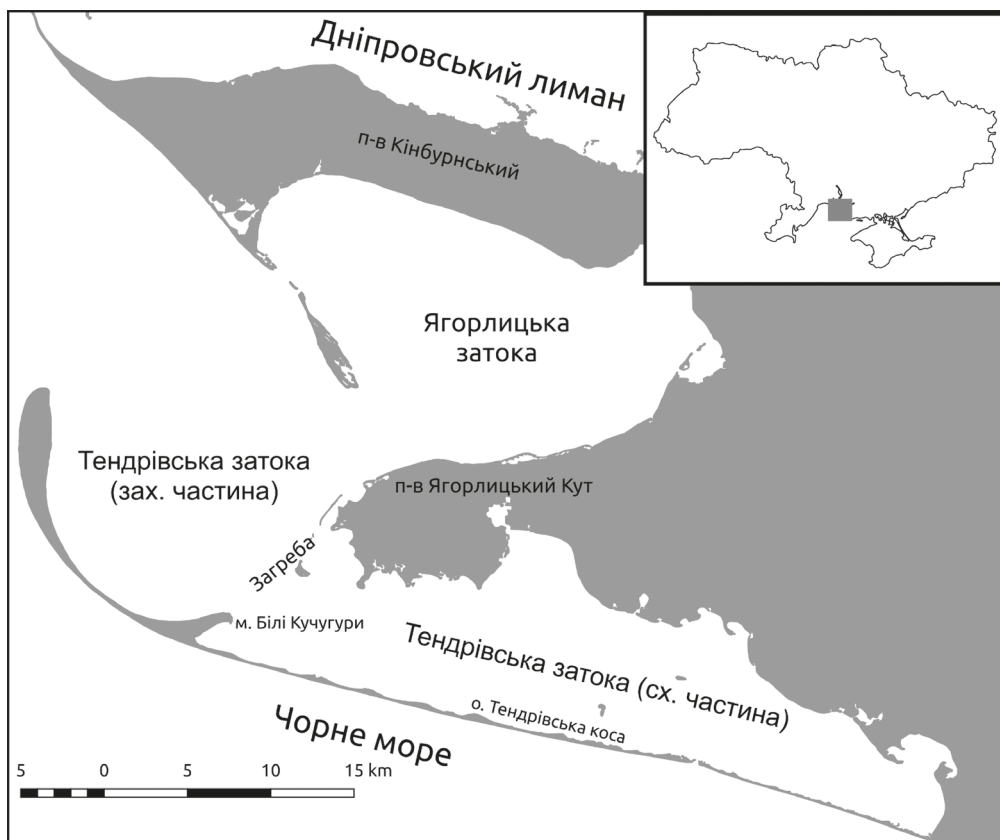
Таким чином, розрахувавши за формулою (2)  $\rho SDB$  за ДДЗ у видимих діапазонах сонячного спектру, та маючи серію вимірювань глибини водойми на мережі станцій для калібрування моделі, шляхом регресійного аналізу можна легко встановити значення параметрів  $m_0$  та  $m_1$ . Підставивши їх у формулу (1), можна змоделювати батиметричну мапу водойми.

Дослідники відмічають, що на точність отримуваних цим методом батиметричних моделей негативно впливають низка природних факторів, як то каламутність водної товщі, характер хвиль, відблиски сонця та неба від водної поверхні, погодні умови тощо [Evagorou *et al.* 2019]. Оскільки зазначені фактори є мінливими у просторі і часі, для покращення точності пропонується здійснювати таке моделювання із застосуванням часових серій ДДЗ [Evagorou *et al.* 2019; Wei & Theuerkauf 2020; Caballero & Stumpf 2020].

## Матеріал і методика досліджень

### Досліджувана акваторія

Тендрівська затока знаходиться у північній частині Чорного моря і входить до складу заповідної зони Чорноморського біосферного заповідника НАН України (ЧБЗ). Вона належить до однієї з найскладніших за своєю будовою берегових областей Чорного моря — Дніпровсько-Каркінітської [Zenkovich 1960]. За рельєфом дна в ній виділяється дві чітко відокремлені частини — глибоководна західна (близько 30 тис. га) та мілководна східна (близько 34 тис. га) (рис. 1). Межею між ними є підводний бар «Загреба», що простягнувся від мису Білі Кучугури на північний схід до півострова Ягорлицький Кут. Східна частина Тендрівської затоки через



**Рис. 1.** Картохема району дослідження.

**Fig. 1.** Map of the study area.

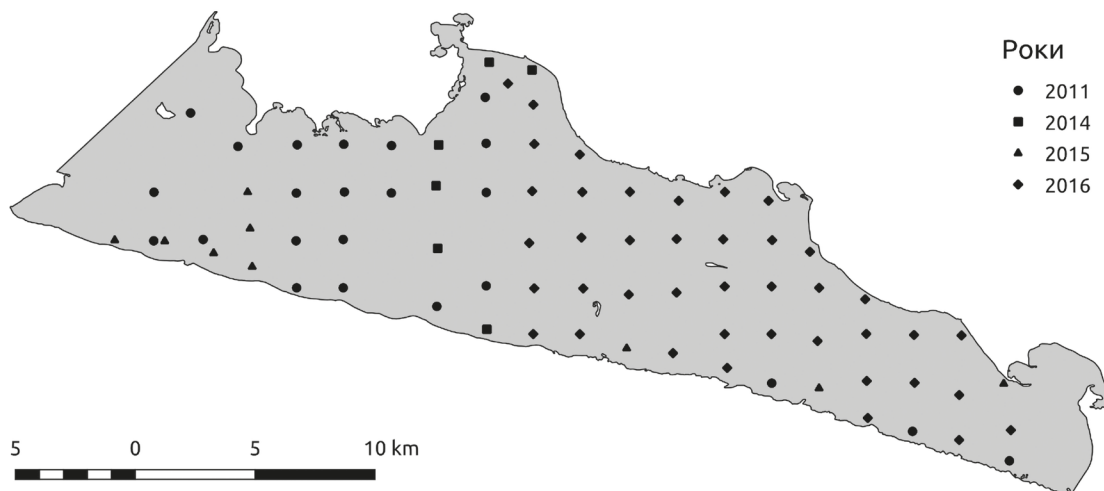
малі глибини, відносно високу продуктивність угруповань донних організмів має велике значення для нагулу риб, гніздування, зимівлі та відпочинку під час міграцій багатьох видів птахів, що зумовило надання цим акваторіям статусу водно-болотного угіддя міжнародного значення [Rudenko & Yaremchenko 2000; Stoilovsky *et al.* 2003].

### **Польові дані**

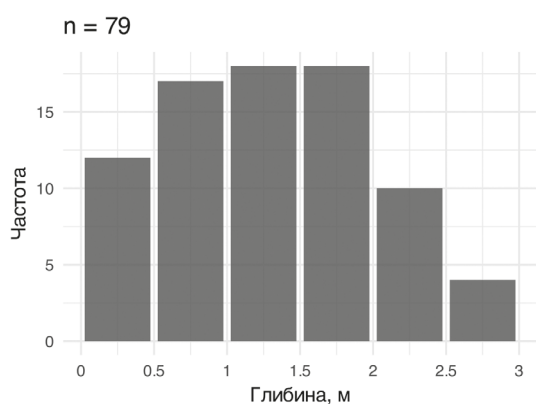
Для калібрування моделі використали дані польових батиметричних вимірювань, які провели фахівці Чорноморського біосферного заповідника НАН України Д. Королєсова та Д. Черняков під час досліджень макробентосу заток у рамках теми «Моніторинг стану природних комплексів Чорноморського біосферного заповідника» у 2011, 2014 та 2015–2016 рр. Глибину затоки вимірювали ручним лотом з точністю до 0.1 м на станціях регулярної опорної мережі гідробіологічного моніторингу. Всього у дослідженні використали дані вимірювань глибини на 79 станціях, з яких у 2011 р. зроблені вимірювання на 23 станціях, у 2014 р. — на 6 станціях, у 2015 р. — на 9 станціях та у 2016 р. — на 41 станції (рис. 2). Розподіл кількості польових батиметричних вимірювань за глибинами представлений на рис. 3.

### **Дані дистанційного зондування та їх попередня обробка**

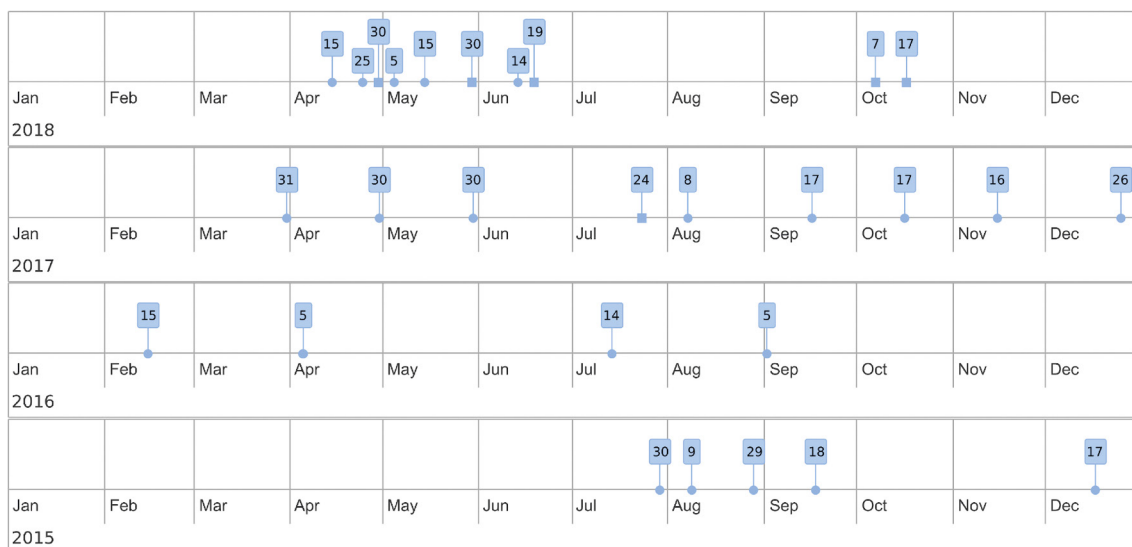
У дослідженні використали ДДЗ Sentinel-2 A/B (інструмент MSI) рівня обробки L1C [European Space Agency 2015], що вільно доступні через веб-сервіс з продуктами програми Copernicus (<https://dataspace.copernicus.eu/>). Ці супутникові знімки поширюються окремими тайлами, розмір і номенклатура яких відповідають 100-кілометровій сітці системи координат UTM. Східна частина Тендрівської затоки потрапляє у два тайли — T36TUS та T36TVS.



**Рис. 2.** Роки та місця проведення батиметричних вимірювань, використаних у дослідженні.  
**Fig. 2.** Years and locations of bathymetric measurements used in the study.



**Рис. 3.** Розподіл кількості польових батиметричних вимірювань за глибинами.  
**Fig. 3.** Distribution of the number of field bathymetric measurements by depth.



**Рис. 4.** Дати отримання використаних у дослідженні даних дистанційного зондування. Круглими мітками на таймлайні позначені дати отримання ДДЗ із супутника Sentinel-2А, квадратними — із супутника Sentinel-2В.

**Fig. 4.** Dates of remote sensing data acquisition used in the study. Circular markers on the timeline indicate dates of Sentinel-2A data acquisition, and square markers indicate dates of Sentinel-2B data acquisition.

Тож, щоб охопити аналізом всю досліджувану акваторію, для кожної обраної дати отримання ДДЗ завантажували обидва вказані тайли. Всього для аналізу обрали супутникові знімки, на яких акваторія східної частини Тендрівської затоки не перекривалася хмарами, за 28 дат 2015–2018 рр. (рис. 4).

Атмосферну корекцію ДДЗ за алгоритмом DSF (Dark Spectrum Fitting) з одночасним обрізанням за регіоном інтересу виконали утилітою ACOLITE (v20210114.0) [Vanhellemont & Ruddick 2016; Vanhellemont 2019]. Після атмосферної корекції спектральні канали 2 (490 нм; відповідає синій області видимого спектру), 3 (560 нм; зелена область спектру) та 4 (665 нм; червона область спектру) з суміжних тайлів, у межі яких потрапляє досліджувана акваторія, за окремими датами поканално об'єднали за допомогою консольної утиліти `gdal_merge`, що входить до пакету GDAL (v.2.2.2) [GDAL/OGR contributors 2017]. В результаті об'єднання отримали 84 растрових файли (по 3 спектральні канали на кожну з 28 дат), які імпортували у середовище R версії 3.6.3 [R Core Team 2020] для завершення попередньої обробки. Останньою операцією з підготовки ДДЗ до аналізу було видалення високочастотного шуму, зумовленого хвилями та відблисками сонця і неба, для чого до кожного каналу застосували медіанний фільтр із розміром вікна 7x7 пікселів [Evagorou et al. 2019] (функція `focal` з пакету `raster` для R [Hijmans 2020]). Після цього там же в середовищі R здійснили обчислення растрів відношень лог-трансформованих спектральних каналів та експортували їх у растрові файли із застосуванням маски, яка обрізувала кінцеві зображення по межі затоки.

### Моделювання батиметричної мапи

Зазвичай при застосуванні методу відношення лог-трансформованих спектральних каналів користуються відношенням логарифмів синього та зеленого (модель типу BG) або синього та червоного (модель типу BR) каналів. При цьому модель типу BR краще працює на глибинах до 6–8 м, а модель типу BG — на глибинах до 20 м, що обумовлено більш швидким затуханням випромінювання червоної області спектру зі збільшенням глибини, у порівнянні із випромінюванням зеленої області спектру [Caballero & Stumpf 2019; Caballero & Stumpf 2020]. У дослідженні ми застосували обидва типи моделі (див. формули (3) та (4) для розрахунку  $\rho SDB_{BG}$  та  $\rho SDB_{BR}$ ). Крім того, враховуючи вкрай малу глибину досліджуваної акваторії, також спробували використати відношення логарифмів зеленого та червоного каналів (модель типу GR; див. формулу (5) для розрахунку  $\rho SDB_{GR}$ ).

$$\rho SDB_{BG} = \frac{\ln(1000 \times R_w(\lambda_{490}))}{\ln(1000 \times R_w(\lambda_{560}))} \quad (3)$$

$$\rho SDB_{BR} = \frac{\ln(1000 \times R_w(\lambda_{490}))}{\ln(1000 \times R_w(\lambda_{665}))} \quad (4)$$

$$\rho SDB_{GR} = \frac{\ln(1000 \times R_w(\lambda_{560}))}{\ln(1000 \times R_w(\lambda_{665}))} \quad (5)$$

Таким чином, в ході дослідження розрахували 84 растри відносної глибини  $\rho SDB$  (по 3 типи моделей на кожну з 28 дат). У точках, що відповідають місцям польових вимірів глибини затоки, з отриманих растрів були зчитані значення  $\rho SDB$  у таблицю, яка разом зі значеннями польових вимірів глибини і була використана для подальшого лінійного регресійного аналізу.

Надалі, зі всієї сукупності супутникових даних за різні дати для подальшого розрахунку батиметричних мап обрали ті сцени ДДЗ, які показали у регресійному аналізі тісніший зв'язок між змінними (оцінювали за значеннями коефіцієнта детермінації  $r^2$ ) і менші значення оцінок похибки між даними польових батиметричних вимірювань та значеннями глибини, що розраховані за рівнянням лінійної регресії.

## Статистична обробка даних

Статистичну обробку даних, включаючи лінійний регресійний аналіз для калібрування моделей, оцінку регресійних моделей та побудову діаграм виконали у середовищі R [R Core Team 2020].

Окрім коефіцієнта детермінації  $r^2$ , для оцінки регресійних моделей використали кореневу середньоквадратичну помилку ( $RMSE$ ) та середню абсолютну помилку ( $MAE$ ) (див. формули (6) та (7) відповідно).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_i - a_i)^2}{n}} \quad (6)$$

де  $a_i$  — емпіричне значення глибини;  $p_i$  — значення глибини передбачене за рівнянням лінійної регресії;  $n$  — об'єм вибірки.

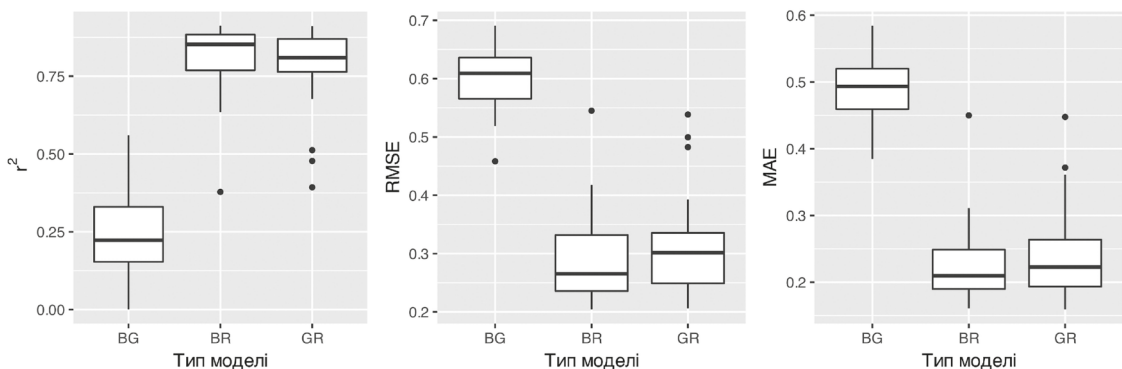
$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |p_i - a_i|}{n} \quad (7)$$

Валідацію оцінок регресійних моделей виконали шляхом багаторазової перехресної перевірки методом k-блоків [Kuhn 2021] (кратність перевірок — 10; кількість блоків  $k$  — 5).

## Результати досліджень

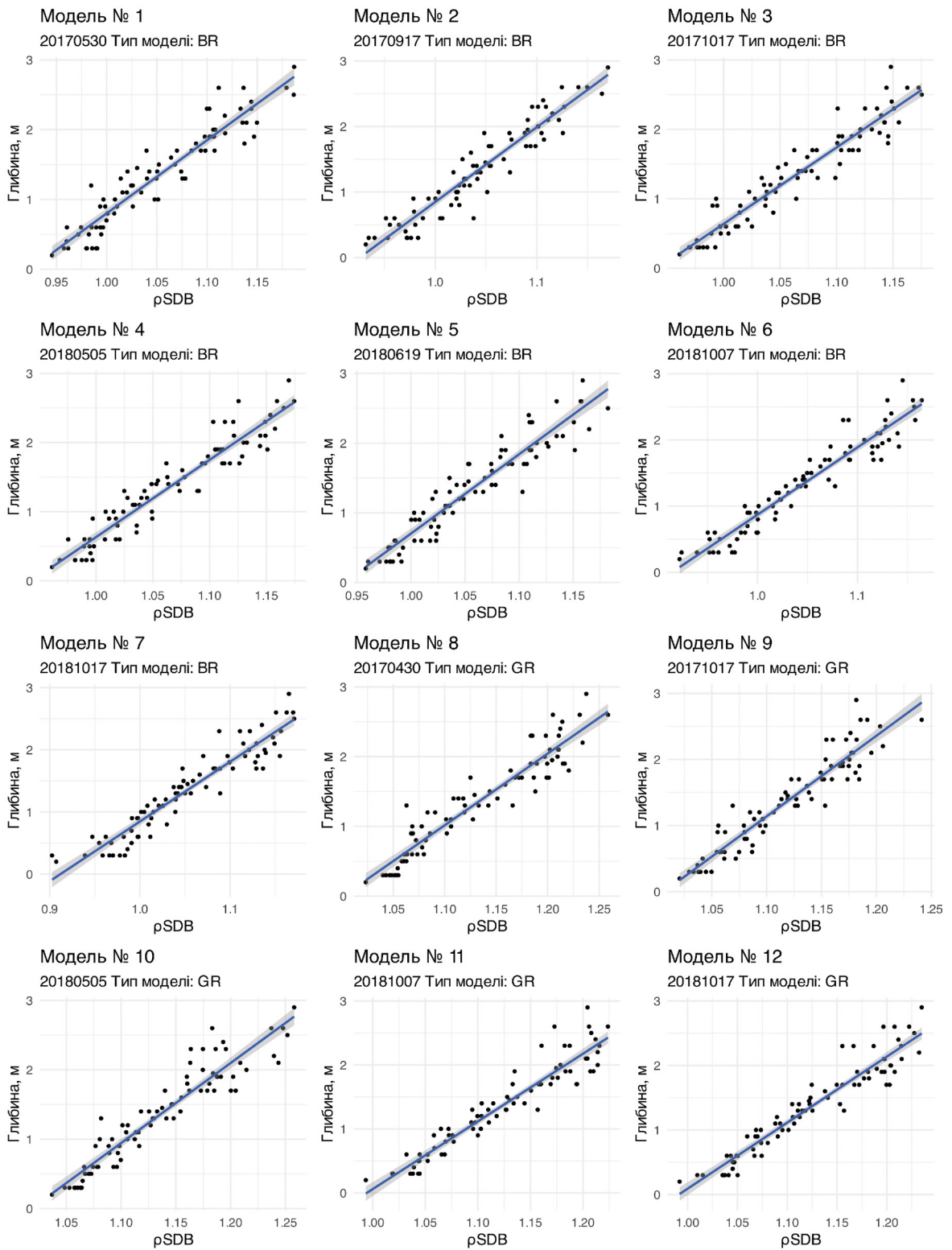
В ході регресійного аналізу встановили, що моделі типу BG через вкрай низьку їх точність непридатні для створення батиметричної мапи східної частини Тендрівської затоки. Як видно з рис. 5, коефіцієнти детермінації  $r^2$  в моделях цього типу занадто низькі (не перевищують 0.56), а значення кореневої середньоквадратичної ( $RMSE$ ) та середньої абсолютної ( $MAE$ ) помилок занадто великі. Навпаки, досить непогані результати показали моделі типів BR та GR. У найкращих моделях зазначених типів максимальні значення коефіцієнтів детермінації  $r^2$  досягають 0.92, а мінімальні значення  $RMSE$  та  $MAE$  — 0.21 та 0.16 відповідно. При цьому, як можна бачити за взаємним розташуванням медіан, кількість більш якісних моделей типу BR більша, ніж моделей типу GR (рис. 5).

Для подальшої роботи з моделювання рельєфу дна східної частини Тендрівської затоки обрали 12 моделей (7 моделей типу BR та 5 моделей типу GR), що показали найкращі результати. У відібраних моделях значення коефіцієнта детермінації становить не менше як 0.89, а значення  $RMSE$  та  $MAE$  не більш як 0.23 і 0.19 відповідно. Результати регресійного аналізу для обраних моделей наведені у табл. 1, а діаграми розсіювання показані на рис. 6.



**Рис. 5.** Варіювання значень коефіцієнта детермінації  $r^2$ , кореневої середньоквадратичної ( $RMSE$ ) та середньої абсолютної ( $MAE$ ) помилок для різних типів моделей.

**Fig. 5.** Variation of  $r^2$  values, root mean square error ( $RMSE$ ), and mean absolute error ( $MAE$ ) for different model types.



**Рис. 6.** Діаграми розсіювання для обраних моделей (світло-сірі області вздовж ліній регресії позначають їх 95 % довірчий інтервал).

**Fig. 6.** Scatter plots for the selected models (light grey shaded areas along the regression lines indicate their 95% confidence intervals).

Таблиця 1. Результати регресійного аналізу

Table 1. Results of regression analysis

Номер моделі	Дата отримання ДДЗ	Тип моделі	$r^2$ (SD)	RMSE (SD)	MAE (SD)	$m_0$	$m_1$	F	Ступені свободи	p-value
1	20170530	BR	0.90 (0.04)	0.23 (0.04)	0.18 (0.03)	-9.67	10.48	624.8	1 та 77	<0.0001
2	20170917	BR	0.90 (0.03)	0.22 (0.04)	0.18 (0.03)	-10.56	11.41	670.9	1 та 77	<0.0001
3	20171017	BR	0.91 (0.03)	0.21 (0.04)	0.17 (0.03)	-10.36	11.00	736.3	1 та 77	<0.0001
4	20180505	BR	0.91 (0.03)	0.22 (0.03)	0.18 (0.03)	-10.55	11.18	718.8	1 та 77	<0.0001
5	20180619	BR	0.90 (0.03)	0.23 (0.04)	0.19 (0.03)	-10.67	11.38	637.7	1 та 77	<0.0001
6	20181007	BR	0.92 (0.03)	0.21 (0.04)	0.17 (0.03)	-9.31	10.18	804.9	1 та 77	<0.0001
7	20181017	BR	0.91 (0.03)	0.23 (0.04)	0.19 (0.03)	-8.76	9.61	656.8	1 та 77	<0.0001
8	20170430	GR	0.90 (0.04)	0.23 (0.04)	0.18 (0.04)	-10.29	10.28	638.5	1 та 77	<0.0001
9	20171017	GR	0.90 (0.04)	0.23 (0.03)	0.18 (0.03)	-12.26	12.18	624.9	1 та 77	<0.0001
10	20180505	GR	0.89 (0.04)	0.23 (0.04)	0.18 (0.03)	-11.74	11.54	609.7	1 та 77	<0.0001
11	20181007	GR	0.91 (0.03)	0.22 (0.04)	0.17 (0.03)	-10.52	10.58	695.0	1 та 77	<0.0001
12	20181017	GR	0.92 (0.03)	0.21 (0.03)	0.16 (0.03)	-10.14	10.23	790.9	1 та 77	<0.0001

Примітка: наведені у таблиці значення коефіцієнтів детермінації ( $r^2$ ), кореневої середньоквадратичної помилки (RMSE) та середньої абсолютної помилки (MAE), а також їх стандартні відхилення (SD) обчислені методом багаторазової k-блочної перехресної перевірки.

Note: The values of  $r^2$ , root mean square error (RMSE), and mean absolute error (MAE) presented in the table, along with their standard deviations (SD), were calculated using the multiple k-fold cross-validation method.

На основі коефіцієнтів, які були отримані в ході регресійного аналізу, за обраними моделями розрахували 12 батиметричних мап, усередненням яких отримали кінцеву модель рельєфу дна східної частини Тендрівської затоки. Ця модель представлена на рис. 7а, а її повнорозмірна геоприв'язана версія у форматі GeoTIFF із роздільністю 10 м/піксель доступна для завантаження у репозиторії Zenodo (див. інформацію про супровідні матеріали у кінці статті). Для наочності також підготували відмивку рельєфу (рис. 7b). Крім того, розрахували растр стандартних відхилень, який дає уявлення про варіацію даних, що лягли в основу кінцевої батиметричної моделі (рис. 7c). Гістограма частотного розподілу множини значень пікселів цього растру наведена на рис. 8.

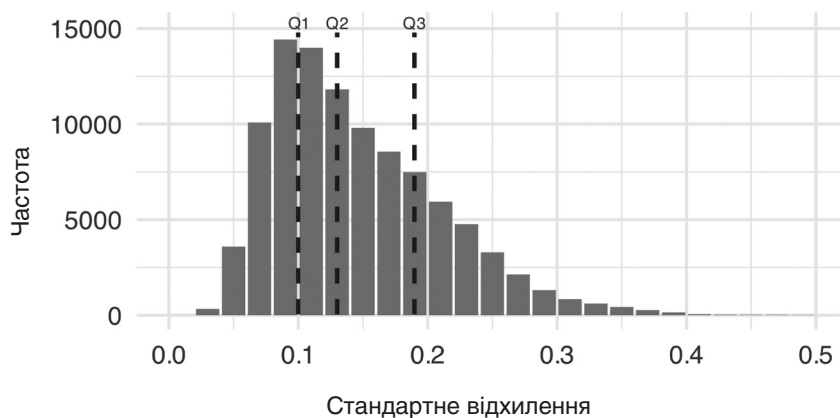
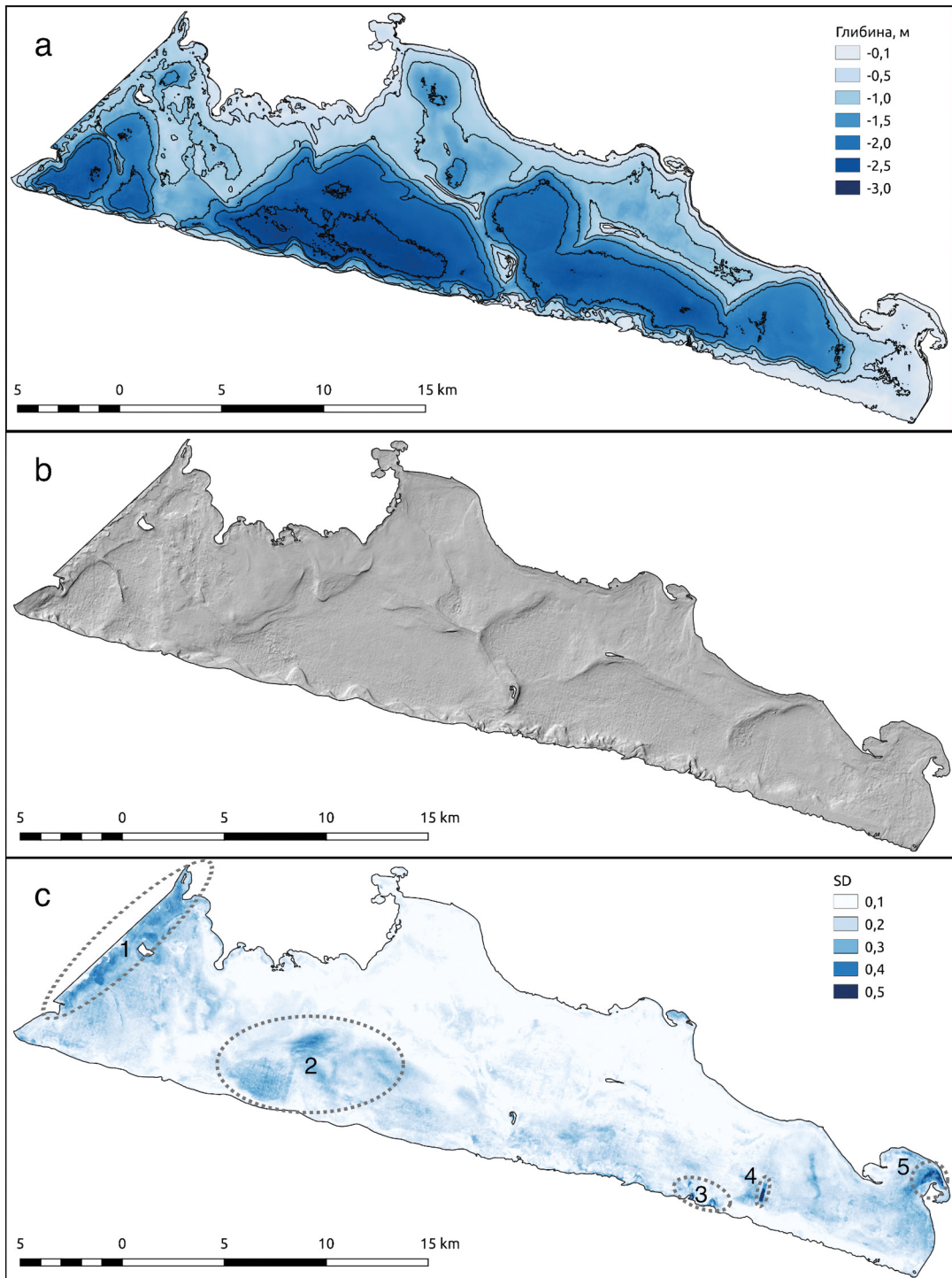


Рис. 8. Частотний розподіл значень множини пікселів растру стандартних відхилень (Q1, Q2 та Q3 — відповідно, 1-й, 2-й та 3-й квартилі).

Fig. 8. Frequency distribution of pixel values in the standard deviation raster (Q1, Q2, and Q3 represent the 1st, 2nd, and 3rd quartiles, respectively).



**Рис. 7.** Результати батиметричного моделювання східної частини Тендрівської затоки; (а) власне батиметрична модель; (б) відмивка рельєфу; (с) растр стандартних відхилень. Примітки: 1) на рис. 7а ізобати проведені через 0.5 м; 2) при генерації відмивки рельєфу коефіцієнт вертикального масштабування або z-фактор був встановлений рівним 100; 3) пронумерованими пунктирними овалами на рис. 7с позначено області з підвищеними значеннями стандартного відхилення.

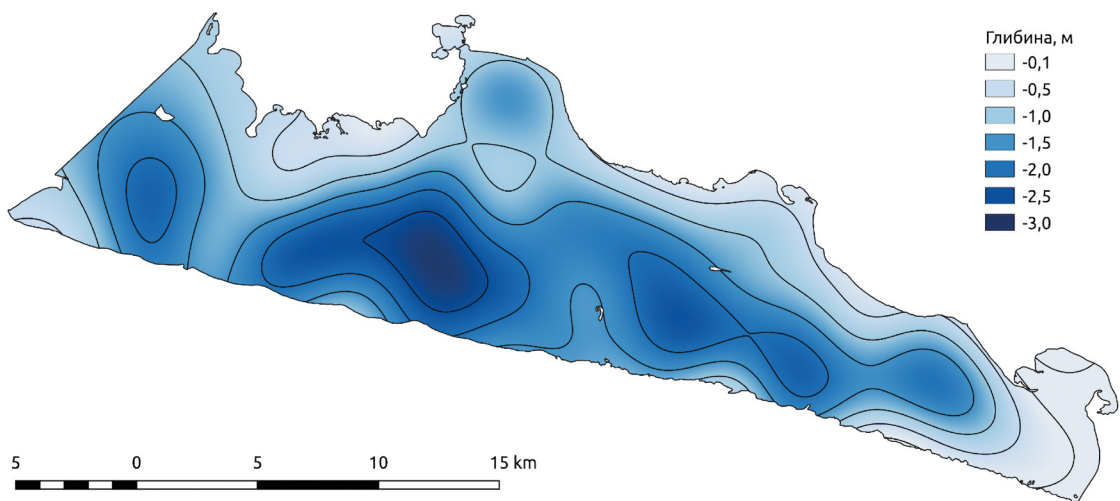
**Fig. 7.** Results of bathymetric modelling of the eastern Tendrivska Bay; (a) bathymetric model; (b) hillshade representation; (c) standard deviation raster. Notes: 1) in Fig. 7a, contour lines are drawn at 0.5 m intervals; 2) for the hillshade representation, the vertical exaggeration or z-factor was set to 100; 3) numbered dashed ovals in Fig. 7c indicate areas with elevated standard deviation values.

## Обговорення результатів дослідження

Рельєф дна є головним абіотичним фактором природної зональності, який визначає локальні особливості седиментаційних, гідрохімічних та гідрофізичних умов, як наслідок, формування біотопів для різних угруповань гідробіонтів. Східна мілководна частина Тендрівської затоки має складний розчленований рельєф дна, що спричиняє значну фрагментованість біотопів, в той же час, саме ця акваторія є найбільш важливою з точки зору здійснення гідробіологічного моніторингу у ЧБЗ. Моніторинг стану природних аквальних комплексів заснований на точкових натурних даних, які фахівці заповідника отримують на регулярній мережі станцій. Аналіз просторового розподілу та особливостей структури донних біоценозів, поширення окремих видів, розподілу біомаси, оцінка обсягів загальних запасів здійснюється на основі інтерполяції точкових даних [Korolesova 2015; 2017]. Адекватна оцінка просторового розподілу вказаних показників стану природно-аквального комплексу можлива лише за умов урахування моделі рельєфу дна з достатньою роздільністю.

Регулярний комплексний моніторинг біоти східної частини Тендрівської затоки ведеться близько півстоліття і батиметричні дослідження затоки завжди були однією із важливих його складових. Гідробіологічна зйомка на опорній мережі гідробіологічного моніторингу, серед іншого, передбачає обов'язкове вимірювання глибини затоки у місці відбору проб [Korolesova 2015; 2017].

З появою у 90-х роках можливості застосування комп'ютерної картографії у цих дослідженнях, у заповіднику вдалося істотно удосконалити техніку моделювання рельєфу дна затоки. Спочатку у системах автоматичного проектування, а пізніше у настільних геоінформаційних системах його здійснювали шляхом інтерполяції набору точкових вимірювань глибини на опорній мережі гідробіологічного моніторингу. На виході отримували батиметричні моделі на зразок представленої на рис. 9. Ця модель була згенерована у GRASS GIS [GRASS Development Team 2019] інтерполяцією модулем `v.surf.rst` даних польових вимірювань, що лягли в основу цього дослідження. В загальних рисах вона подібна до моделі, отриманої на основі ДДЗ: коефіцієнт кореляції Пірсона між растрами обох моделей становить 0.84. Однак, просторова роздільність батиметричної моделі, отриманої шляхом інтерполяції, дуже обмежена.

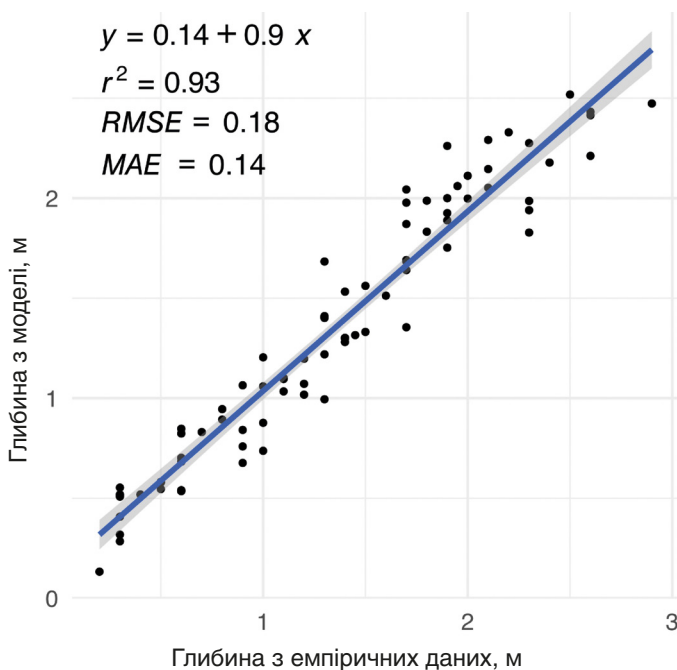


**Рис. 9.** Батиметрична модель східної частини Тендрівської затоки побудована шляхом інтерполяції 79 точкових польових вимірювань глибини. Примітка: ізобати на моделі проведені через 0.5 м.

**Fig. 9.** Bathymetric model of the eastern Tendrivska Bay constructed by interpolating 79 point field depth measurements. Note: contour lines in the model are drawn at 0.5 m intervals.

Як наслідок, вона є мало придатною, наприклад, для геоморфологічних досліджень зі скільки-небудь прийнятною деталізацією для цілей моніторингу заповідником природно-аквального комплексу затоки. Просторова роздільність інтерполяційної моделі може бути покращена лише одним способом — збільшенням щільності мережі станцій для польових вимірювань. Втім, це важко реалізувати через істотне зростання витрат, необхідних для проведення подібного дослідження. Більш сучасні методи батиметричних досліджень, як то ехолотна зйомка, чи авіаційне лідарне сканування, заповіднику теж недоступні з причини високої вартості. З огляду на це, можливість отримати модель рельєфу дна затоки з високою просторовою роздільністю за допомогою машинного навчання та ДДЗ на тому ж наборі польових даних, який зазвичай збирається в ході гідробіологічної зйомки, є вельми привабливою. Втім, тут постає проблема оцінки вертикальної точності отриманої моделі, зокрема у контексті питання чи достатня вона для тих чи інших дослідницьких цілей.

Моделю оцінили шляхом порівняння наявних емпіричних значень глибини, які були використані для тренування моделі, зі значеннями глибини з моделі. В ході порівняння, яке провели методом регресійного аналізу, встановили, що емпіричні та модельні значення між собою сильно корелюють (коефіцієнт детермінації  $r^2$  становить 0.93,



**Рис. 10.** Діаграма розсіювання емпіричних та модельних батиметричних даних.

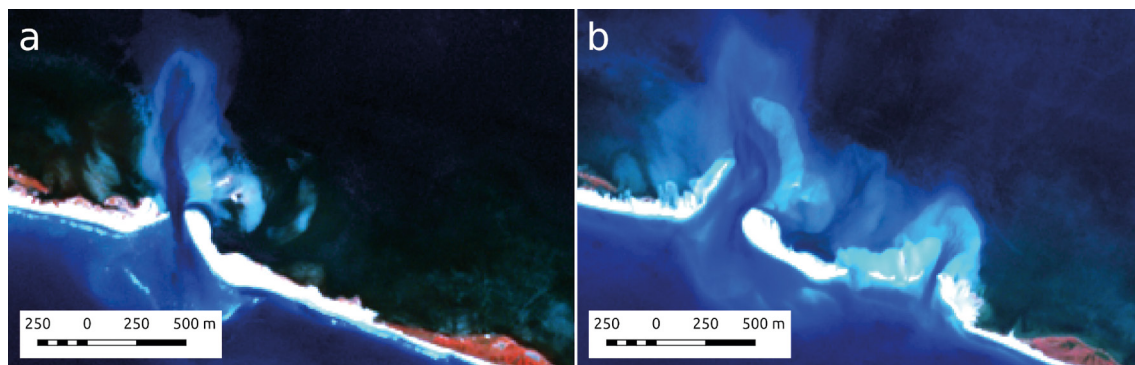
**Fig. 10.** Scatter plot of empirical and model bathymetric data.

що відповідає коефіцієнту кореляції 0.96), а значення  $RMSE$  та  $MAE$  становлять 0.18 та 0.14 відповідно (рис. 10). Цікаво, що порівнюючи значення  $r^2$ ,  $RMSE$  та  $MAE$  для усередненої моделі з такими у табл. 1 для окремих моделей, доходимо висновку, що усереднена батиметрична модель дещо краще відповідає емпіричним даним, ніж будь-яка з тих 12 моделей, що лягли в її основу. Це узгоджується з літературними даними, відповідно до яких батиметричні моделі, що були отримані на основі часових серій ДДЗ, характеризуються вищою точністю, ніж моделі засновані на одиничних супутникових знімках [Evagorou *et al.* 2019; Wei & Theuerkauf 2020; Caballero & Stumpf 2020].

Окремий інтерес у контексті оцінки вертикальної точності моделі рельєфу дна затоки, становить аналіз растру стандартних відхилень, який зображений на рис. 7с. Як можна бачити, на більшій частині акваторії затоки варіація значень глибини між окремими моделями досить низька. З гістограми розподілу значень множини пікселів цього растру і локалізації квартилів (рис. 8) видно, що стандартне відхилення не перевищує 0.1, 0.13 та 0.19 м на 25, 50 та 75 % площі акваторії відповідно. При цьому, порівнюючи рис. 7а та 7с, можна бачити, що області з низькими значеннями стандартного відхилення здебільшого характерні для місць з порівняно малими глибинами. Досить висока варіабельність значень глибини між моделями приурочена до котловин, а також до областей з інтенсивною динамікою вод. Наприклад, порівняно високі значення стандартного відхилення в області 1 на рис. 7с найімовірніше зумовлені

тим, що тут частіше спостерігаються високі концентрації зависей через інтенсивну динаміку вод внаслідок впливу суміжної до цієї області глибоководної частини Тендрівської затоки. Інтенсивною динамікою вод ймовірно спричинені високі значення стандартного відхилення і у області 5. Остання знаходиться у кутовій частині затоки у зоні переходу у затоку другого порядку, де берегова лінія має складну конфігурацію. Через цю зону відбувається водообмін під час згінно-нагінних явищ, що і зумовлює тут час від часу велику концентрацію зависей.

Інтенсивна варіабельність змодельованих значень глибини між окремими моделями у області 2 визначається наявністю тут котловини і, відповідно, більшим часом седиментації зависей. Високі значення стандартного відхилення на двох ділянках малої площі впритул до промоїни на острові Тендрівська Коса у області 3 очевидно зумовлена не просторовою оптичною неоднорідністю вод, а власне частими змінами глибин у місцях водообміну між затокою і морем через промоїну. Як видно з таблиці 1, ДДЗ, за якими були розраховані 12 обраних моделей, охоплюють більш як рік. Водночас за нашими спостереженнями конфігурація промоїн на Тендрівській Косі (і, відповідно, конфігурація конусів виносу відкладів у затоці) може істотно мінятися навіть за куди менші проміжки часу (рис. 11).



**Рис. 11.** Вигляд промоїн та конусів виносу на одній і тій же ділянці острова Тендрівська Коса (відповідає області 3 на рис. 7с) на супутникових знімках Sentinel-2 від 17.10.2017 р. (а) та 05.05.2018 р. (б); комбінація спектральних каналів: 8-4-2.

**Fig. 11.** The view of the erosion gaps and the sediment cones in the same area of Tendrivska Spit Island (corresponding to area 3 in Fig. 7c) on Sentinel-2 satellite images from 17.10.2017 (a) and 05.05.2018 (b); the combination of spectral bands: 8-4-2.

Окремо привертає до себе увагу правильною формою видовжена з північного сходу на південний захід прямокутна ділянка з високим значенням стандартного відхилення у області 4. Менш виражена подібна ділянка присутня також у області 2. Їхня правильна форма і строга взаємна паралельність натякають на те, що вони не пов'язані з якимось природним явищем у самій затоці, а є аномаліями самих ДДЗ. З літератури відомо, що це є артефакти, які виникають на сценах ДДЗ Sentinel-2 після атмосферної корекції утилітою Acolite внаслідок різниці у фізичних характеристиках окремих сусідніх датчиків на SWIR-сенсорі інструмента MSI [Vanhellemont & Ruddick 2016].

Таким чином, метод відношення лог-трансформованих спектральних каналів продемонстрував високу вертикальну точність батиметричної моделі на більшій частині акваторії Східної частини Тендрівської затоки. Дещо менша вертикальна точність виявилася характерною для порівняно глибоких частин акваторії та на ділянках з інтенсивною динамікою вод і у більшості випадків пов'язана з мінливістю прозорості водної товщі. Втім, оскільки концентрація зависей, яка власне і обумовлює прозорість водної товщі, є мінливою в часі, моделювання рельєфу дна шляхом побудови багатьох окремих батиметричних моделей на відібраних сценах часових серій ДДЗ з наступним їх усередненням дає можливість отримати кінцеву батиметричну модель прийнятної точності.

## Висновки

Методом відношення лог-трансформованих спектральних каналів, який застосували до часової серії ДДЗ Sentinel-2, вдалося побудувати батиметричну модель східної частини Тендрівської затоки з високою роздільністю та високою вертикальною точністю. Ця модель може бути використана як просторова змінна для моделювання просторового поширення гідро-біонтів та водоплавних птахів методами машинного навчання. Значну цінність така модель становить для розуміння геоморфологічних процесів, які відбуваються в затоці.

Хоча використаний метод і потребує чималого обсягу досить ресурсоемних обчислень, він загалом є порівняно простим і доступним, що дозволяє рекомендувати його для моделювання рельєфу дна інших мілководних водойм.

## Супровідні матеріали

Повнорозмірна геоприв'язана цифрова батиметрична модель східної частини Тендрівської затоки у форматі GeoTIFF із роздільністю 10 м/піксель доступна для завантаження на репозиторії Zenodo за адресою: <https://doi.org/10.5281/zenodo.12783467>. Додатково в репозиторії розміщені відмивка рельєфу дна затоки та растр стандартних відхилень у тому ж форматі і з тією ж роздільністю. Крім того, в репозиторії доступний код на мові R, що був використаний у дослідженні для основного етапу обробки ДДЗ.

## Подяки

Висловлюю подяку Д. Королесовій та Д. Чернякову за люб'язно надані дані польових вимірювань глибини східної частини Тендрівської затоки. Окрема подяка Д. Королесовій за цінні доповнення, які допомогли істотно покращити зміст роботи.

## Декларації

Фінансування. Дослідження виконано у рамках та коштом планових наукових тем Чорноморського біосферного заповідника НАН України «Моніторинг стану природних комплексів Чорноморського біосферного заповідника НАН України (Літопис природи) в 2016–2020 рр.» (№ ДР 0116U003374) та «Моніторинг стану природних комплексів Чорноморського біосферного заповідника НАН України (Літопис природи) в 2021–2025 рр.» (№ ДР 0121U109174).

Конфлікт інтересів. Автор не має жодних конфліктів інтересів, які могли б вплинути на зміст цієї статті.

## References

- Caballero, I., R. P. Stumpf. 2019. Retrieval of nearshore bathymetry from Sentinel-2A and 2B satellites in South Florida coastal waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **226**: 106277. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106277>
- Caballero, I., R. P. Stumpf. 2020. Towards routine mapping of shallow bathymetry in environments with variable turbidity: contribution of Sentinel-2A/B satellites mission. *Remote Sensing*, **12** (3): 451. <https://doi.org/10.3390/rs12030451>
- Casal, G., X. Monteys, J. Hedley, P. Harris, C. Cahalane, [et al.]. 2019. Assessment of empirical algorithms for bathymetry extraction using Sentinel-2 data. *International Journal of Remote Sensing*, **40** (8): 2855–2879. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1533660>
- European Space Agency. 2015. *Sentinel-2 User Handbook, ESA Standard Document. Issue 1, Rev 2*. Paris, France, 1–64. [https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2\\_User\\_Handbook](https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook)
- Evagorou, E., C. Mettas, A. Agapiou, K. Themistocleous, D. Hadjimitsis. 2019. Bathymetric maps from multi-temporal analysis of Sentinel-2 data: the case study of Limassol, Cyprus. *Advances in Geosciences*, **45**: 397–407. <https://doi.org/10.5194/adgeo-45-397-2019>
- GDAL/OGR contributors. 2017. *GDAL/OGR Geospatial Data Abstraction software Library, Version 2.2.2*. Open Source Geospatial Foundation. <https://gdal.org>
- GRASS Development Team. 2019. *Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software, Version 7.8.2*. <https://grass.osgeo.org>
- Hijmans, R. J. 2020. *raster: Geographic Data Analysis and Modeling*. <https://CRAN.R-project.org/package=raster>
- Klemas, V. 2011. Beach profiling and LIDAR bathymetry: an overview with case studies. *Journal of Coastal Research*, **27** (6): 1019–1028. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-11-00017.1>

- Korolesova, D. D. 2015. Biocoenosis membrane of Chara alga as an important element of coastal ecosystems (on the example Tendrovsky and Yagorlytsky Bays of Black Sea). *Bulletin of Odesa National University. Series: Geographical and Geological Sciences*, **20** (1): 134–148. [Russian]
- Korolesova, D. D. 2017. Current state of the macrophytobenthos in Tendrivska and Yagorlycka Bays of Black Sea Biosphere Reserve. *Black Sea Botanical Journal*, **13** (4): 457–467. [Ukrainian] <https://dx.doi.org/10.14255/2308-9628/17.134/4>
- Kuhn, M. 2021. *caret: Classification and Regression Training*. <https://CRAN.R-project.org/package=caret>
- Lavers, J. L., M. G. R. Miller, M. J. Carter, G. Swann, R. H. Clarke. 2014. Predicting the spatial distribution of a seabird community to identify priority conservation areas in the Timor Sea. *Conservation Biology*, **28** (6): 1699–1709. <https://doi.org/10.1111/cobi.12324>
- R Core Team. 2020. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Reiss, H., S. Birchenough, A. Borja, L. Buhl-Mortensen, J. Craeymeersch, [et al.]. 2015. Benthos distribution modelling and its relevance for marine ecosystem management. *ICES Journal of Marine Science*, **72** (2): 297–315. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsu107>
- Rudenko, A. G., O. A. Yaremchenko. 2000. Tendrovsky Bay. In: Siokhin, V. (ed.). *Numbers and Distribution of Breeding Waterbirds in the Wetlands of the Azov-Black Sea Region of Ukraine*. Wetlands International-AEME, Kyiv, 127–144. [Russian]
- Stoilovsky, V., A. Korziukov, M. Zhmud, I. Rusev, M. Nesterenko, [et al.]. Ukraine. 2003. In: *Directory of Azov-Black Sea Coastal Wetlands: Revised and Updated*. Wetlands International, Kyiv, 165–229.
- Stumpf, R. P., K. Holderied, M. Sinclair. 2003. Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types. *Limnology and Oceanography*, **48** (1part2): 547–556. [https://doi.org/10.4319/lo.2003.48.1\\_part\\_2.0547](https://doi.org/10.4319/lo.2003.48.1_part_2.0547)
- Vanhellemont, Q. 2019. Adaptation of the dark spectrum fitting atmospheric correction for aquatic applications of the Landsat and Sentinel-2 archives. *Remote Sensing of Environment*, **225**: 175–192. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.03.010>
- Vanhellemont, Q., K. Ruddick. 2016. Acolite for Sentinel-2: Aquatic Applications of MSI Imagery. In: *Proceedings of the 2016 ESA Living Planet Symposium* (Prague, 9–13 May 2016). ESA Special Publication SP-740.
- Wei, C., S. J. Theuerkauf. 2020. A Novel Multitemporal Approach for Satellite-Derived Bathymetry for Coastal Waters of Palau. *Journal of Coastal Research*, **37** (2): 336–348. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-20-00032.1>
- Zenkovich V. P. 1960. *Morphology and Dynamics of the Soviet Coast of the Black Sea. V. II (North-Western part)*. USSR Academy of Sciences, Moscow, 1–216. [Russian]

# Distribution of nesting biomorphs of birds in green areas of the left-bank part of Dnipro City (Ukraine)

Olha Reshotka , Yuliia Komlyk

Dnipro National University (Dnipro, Ukraine)

## article info

### key words

bird activity, urbanised areas, species diversity, biomorphs

### correspondence to

Yuliia Komlyk; Dnipro National University; 72 Nauky Avenue, Dnipro, 49000 Ukraine; Email: [julikomluk@gmail.com](mailto:julikomluk@gmail.com); orcid: 0009-0007-6615-1345

### article history

Submitted: 01.11.2024. Revised: 26.12.2024. Accepted: 30.12.2024

### cite as

Reshotka, O., Y. Komlyk. 2024. Distribution of nesting biomorphs of birds in green areas of the left-bank part of Dnipro City (Ukraine). *GEO&BIO*, 26: 160–174. [Ukrainian, with English summary]

## abstract

The article examines the bird fauna of the left-bank part of the city of Dnipro, including parks, forest parks, squares, cemeteries, and other green areas as key elements of the urban landscape. The study covered eight green zones with varying degrees of anthropogenic transformation, a total area of 479.08 hectares, where route surveys were conducted over a total distance of 34.73 km. The article provides an analysis of the species composition and abundance of birds, as well as an assessment of their activity in various habitat types. In total, the activity of 58 bird species belonging to 14 orders was recorded during the study, demonstrating significant taxonomic and ecological diversity. The most numerous order was Passeriformes represented by 33 species (57% of the total). The Lomivskiy Forest Park demonstrated the highest ecological value, with 181 registered bird individuals belonging to 34 species. The uniqueness of this area is attributed to a combination of diverse habitats, the presence of multi-tiered vegetation, and a low level of urbanisation. The Obukhiv Forest Park showed the lowest bird abundance (77 registrations), explained by the sparsity of vegetation cover, the dominance of Scots pine, and the absence of dense understorey required by many species. Nesting biomorphs of birds were analysed separately, reflecting the species' adaptive capabilities to environmental conditions. The most numerous biomorphs were 'anthropogenic-substrate' (364 registrations) and 'cavity-nesting-anthropogenic-substrate' (293 registrations), highlighting the high adaptability of synanthropic and partially forest-dwelling species to using artificial structures for nesting. Birds of the 'tree-crown' biomorph also showed significant activity (179 registrations), underscoring the importance of tree plantations, particularly old trees with cavities, for supporting the bird fauna. Rare biomorphs include 'burrow' and 'coastal' (2 registrations each), indicating a lack of natural conditions such as burrows, coastal zones, or floating vegetation necessary for these species. The obtained results allow identifying the key factors influencing the avifauna in urbanised environments. The study findings can be used to enhance the ecological stability of urban areas, improve green zone planning, and preserve biodiversity.

# Розподіл гніздових біоморф птахів у зелених насадженнях лівобережної частини міста Дніпро

Ольга Решотка, Юлія Комлик

**Резюме.** У статті розглянуто орнітофауну лівобережної частини міста Дніпро, включаючи парки, лісопарки, сквери, кладовище та інші зелені зони, як ключові елементи міського ландшафту. Дослідження охопило 8 зелених зон різного ступеня антропогенної трансформації загальною площею 479,08 га, де проведено маршрутні обліки загальною довжиною 34,73 км. У статті наведено аналіз видового складу та чисельності птахів, а також оцінено їхню активність у різних типах біотопів. Загалом протягом дослідження було зареєстровано активність 58 видів птахів, що належать до 14 рядів, які демонструють значне таксономічне та екологічне різноманіття. Найбільш чисельним є ряд Горобцеподібні (Passeriformes), до якого належить 33 види (57% від загальної кількості). Ломівський лісопарк продемонстрував найвищу екологічну цінність із 181 зареєстрованою особиною птахів, що належать до 34 видів. Унікальність цієї території зумовлена поєднанням різноманітних біотопів, наявністю багатоярусної рослинності та низьким рівнем урбанізації. Обухівський лісопарк виявив найнижчі показники чисельності птахів (77 реєстрацій), що пояснюється розрідженістю рослинного покриву, домінуванням сосни звичайної та відсутністю густого підліску, необхідного для багатьох видів. Окремо проаналізовано гніздові біоморфи птахів, які відображають адаптаційні можливості видів до умов середовища. Найбільш чисельними є біоморфи «антропогенно-субстратна» (364 реєстрації) та «дуплотно-антропогенно-субстратна» (293 реєстрації), що демонструє високу здатність синантропних і частково лісових видів до використання штучних конструкцій для гніздування. Значну активність також показали птахи біоморфи «кровоно-деревна» (179 реєстрацій), що підкреслює важливість деревних насаджень, особливо старих дерев із дуплами, для підтримання орнітофауни. Рідкісними залишаються біоморфи «норна» та «прибережна» (по 2 реєстрації), що свідчить про нестачу природних умов, таких як нори, прибережні зони чи плаваюча рослинність, необхідних для цих видів. Отримані результати дозволяють ідентифікувати ключові чинники, які впливають на орнітофауну в умовах урбанізації. Результати дослідження можуть бути використані для підвищення екологічної стабільності міських територій, покращення планування зелених зон і збереження біорізноманіття.

Ключові слова: активність птахів, урбанізовані території, видове різноманіття, біоморфи.

Адреса для зв'язку: Юлія Комлик; Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара; проспект Науки, 72, м. Дніпро, 49000 Україна; Email: julikomluk@gmail.com; orcid: 0009-0007-6615-1345

## Вступ

Міські зелені зони, такі як парки, сквери та лісопарки, відіграють критично важливу роль у підтриманні екологічного балансу урбанізованих територій. Ці ділянки не лише підвищують естетичну привабливість міського ландшафту, але й є важливими осередками біорізноманіття, слугуючи оселищами для численних видів птахів [Stankevych-Volosianchuk 2017]. Міські птахи змушені адаптуватися до особливих умов життя в межах урбанізованих зон, які значно відрізняються від їхнього природного середовища [Kuzio 2016]. Зелені території надають їм необхідні ресурси для харчування, укриття та гніздування, створюючи своєрідні «острови життя» серед міського середовища, однак високий рівень антропогенного впливу часто змінює структуру угруповань птахів і може негативно впливати на їхнє різноманіття [Solomakha *et al.* 2020; Shupova & Chaplygina 2021].

Розуміння взаємозв'язку між видовим складом птахів і характеристиками зелених зон стає дедалі актуальнішим, оскільки такі дослідження дозволяють глибше оцінити вплив урбанізації на природу [Díaz *et al.* 2022; Stankevych 2004]. Птахи є природними індикаторами стану екосистем, і їхні угруповання можуть слугувати ефективним інструментом для моніторингу екологічних змін [Dubovuk 2019]. Крім того, птахи виконують низку важливих функцій у міських ландшафтах, включно з боротьбою проти комах-шкідників, поширенням насіння рослин, а також створенням умов для емоційного та естетичного комфорту городян. Наприклад, спів птахів сприяє зниженню рівня стресу у мешканців міста, а їхня присутність робить парки та сквери привабливими місцями для відпочинку.

Проте, попри значну кількість досліджень орнітофауни міських територій у різних країнах світу, в Україні ця тема залишається недостатньо вивченою. Дотепер основна увага приділялася лише окремим аспектам, таким як поведінка окремих видів або їхня адаптація до змінених умов середовища [Borysov *et al.* 2020; Koshelev *et al.* 2020; Atemasova 2023]. При цьому питання впливу різних типів рослинності, щільності деревних насаджень і ступеня окультуреності територій на видовий склад і активність птахів залишаються малодослідженими. Особливо важливим є аналіз взаємодії синантропних видів, які активно пристосувалися до міських умов, із лісовими видами, що зберегли прив'язаність до природних середовищ [Bokotey 1995; Shupova *et al.* 2023].

Вивчення орнітофауни міських парків і лісопарків є вкрай важливим не лише з наукової точки зору, але й для практичного використання в природоохоронній діяльності. Дані, отримані під час таких досліджень, дозволяють розробляти рекомендації для створення зелених зон, які максимально сприятимуть підтриманню біорізноманіття та екологічного балансу в умовах постійного зростання урбанізації. Особливо цінними є результати досліджень, що враховують особливості урбанізованого ландшафту, оскільки вони можуть бути використані для покращення планування міських територій, зокрема через інтеграцію природоорієнтованих рішень [Kuzio 2016].

## Матеріали та методи

Методи досліджень базувалися на комплексному підході, який поєднує елементи різних методів і спрямований на аналіз активності птахів у деревостанах у гніздовий період. Основою послугувала методика дослідження активності птахів, запропонована О. Л. Пономаренком [Ponomarenko 2017], яка включає модифіковані елементи методів спостереження та метод маршрутних обліків [Bibby *et al.* 1998]. Маршрутний облік ідеально підходить для обліку більш рухливих та помітних видів птахів, а також тих, що можуть легко бути «сполохані» спостерігачем. Обліки проводили під час пішого переміщення вздовж обраного маршруту з реєстрацією всіх видів птахів з обох боків маршруту. Швидкість пересування становила 0,75–1,0 км/годину. Для зниження ймовірності повторної реєстрації одного і того ж птаха обліки проводилися з інтервалом у 40–50 метрів. Така відстань була обрана з урахуванням того, що більшість птахів під час гніздового сезону зазвичай тримаються своїх гніздових ділянок, які забезпечують захист потомства та ефективне вигодовування. У разі потреби здійснювалися короткі зупинки для уточнення виду або підрахунку кількості особин.

Під час спостережень реєстрували наступні параметри: вид птаха; вид дерева або чагарника, на якому птах був помічений; висота та віковий стан деревостану; субстрат, на якому була виявлена активність птаха; висота місцезнаходження птаха; наявність чагарників або підліску, їх видовий склад та висота; наявність травостою та його висота; а також географічні координати точки реєстрації. У якості субстратів розглядалися природні компоненти (гілки, стовбури, поверхня ґрунту, поверхня води) та антропогенні елементи (будівлі, парки, освітлювальні конструкції). Для просторового аналізу даних застосовувався метод картографування, який передбачав реєстрацію GPS-координат кожного місця трапляння птахів.

Спостереження здійснювали протягом гніздових періодів (з квітня по липень) 2023–2024 років вранці (з 6:00 до 11:00) за сприятливих погодних умов задля реєстрації максимальної активності птахів. Аналіз охопив основні зелені зони лівобережжя м. Дніпро, включаючи парки, сквери, фрагменти природних лісів, трансформованих антропогенним впливом. Невеликі за площею зелені насадження обстежували повністю, а в більших зонах обирались ділянки, що найкраще представляли типові екосистеми.

Загальна довжина піших маршрутів склала 34,73 км, а площа дослідженої території — 479,08 га. Обліковано 1164 особин 58 видів птахів у 8-ми зелених зонах лівобережної частини міста Дніпро, які включали в себе міські парки, сквери, приміські лісові зони, а також цивільне кладовище (табл. 1).

Таблиця 1. Обстеженість територій лівобережної частини м. Дніпро в 2023–2024 роках\*

Table 1. Surveyed areas of the left-bank part of the city of Dnipro in 2023–2024

№ з/п	Місце реєстрації	Дати дослідження	Площа обстеженої території, га	Довжина маршруту, км	Кількість реєстрацій	Кількість видів
1.	Обухівський лісопарк	02.06.2024–09.06.2024	183,00	9,60	77	20
2.	Ломівський лісопарк	18.05.2024–19.05.2024	126,00	5,90	181	35
3.	Цивільне кладовище	30.05.2024	22,30	3,00	177	19
4.	Парк Кирилівка	06.05.2024	9,49	2,15	148	24
5.	Лісопарк Дружби народів	04.05.2024–01.06.2024	104,00	10,20	139	20
6.	Парк Сагайдак	24.04.2024–28.04.2024	16,78	1,39	175	21
7.	Мануйлівський парк	24.04.2024–28.04.2024	8,72	0,61	139	15
8.	Парк культури та відпочинку Придніпровський	20.05.2023–11.06.2023	8,79	1,88	128	24
	Загалом		479,08	34,73	1164	–

\* Номери відповідають позначенням на мапі (рис. 1).

Зелені зони лівобережної частини міста Дніпро, що були об'єктами дослідження протягом гніздових сезонів 2023–2024 років, представлені на карті-схемі (Рис. 1).

Карта дозволяє наочно продемонструвати просторове розташування досліджених територій, що є важливим для розуміння того, як міське середовище впливає на формування орнітокомплексів. Аналіз гніздових біоморф та активності угруповань птахів на цих ділянках є ключовими для оцінки їхнього екологічного значення в збереженні різноманіття птахів і підтриманні їхньої активності.



Рис. 1. Карта-схема досліджених територій лівобережної частини міста Дніпро: 1 — Обухівський лісопарк, 2 — Ломівський лісопарк, 3 — Цивільне кладовище, 4 — Парк Кирилівка, 5 — Лісопарк Дружби народів, 6 — Парк Сагайдак, 7 — Мануйлівський парк, 8 — Парк культури та відпочинку Придніпровський.

Fig. 1. Map-scheme of the surveyed areas in the left-bank part of the city of Dnipro: 1—Obukhiv Forest Park, 2—Lomivskiy Forest Park, 3—Civil Cemetery, 4—Kyrylivka Park, 5—Friendship of Peoples Forest Park, 6—Sahaydak Park, 7—Manuilivskiy Park, 8—Prydniprovskiy Culture and Leisure Park.

## Результати та їх обговорення

У межах лівобережної частини міста Дніпро на восьми досліджених ділянках було зареєстровано 58 видів птахів, які належать до 14 рядів (табл. 2).

Таблиця 2. Видовий склад та чисельність птахів у парках і лісопарках лівобережної частини м. Дніпро. Види вказані в алфавітному порядку за українською назвою\*

Table 2. Species composition and abundance of birds in parks and forest parks of the left-bank part of the city of Dnipro. Species are listed in alphabetical order by their Ukrainian names

Українська назва виду	Латинська назва виду	п особин							Загалом	
		Лісопарк О	Лісопарк Л	Кладовище Ц	Парк К	Лісопарк ДН	Парк С	Парк М		Парк П
Боривігер звичайний	<i>Falco tinnunculus</i> (Linnaeus, 1758)	1	1	-	-	-	-	-	-	1
Вивільга	<i>Oriolus oriolus</i> (Linnaeus, 1758)	1	7	1	-	-	-	-	-	9
Вівсянка звичайна	<i>Emberiza citrinella</i> (Linnaeus, 1758)	2	3	-	-	-	-	-	-	5
Вівчарик жовтобровий	<i>Phylloscopus sibilatrix</i> (Bechstein, 1793)	3	3	-	-	-	-	-	-	6
Вівчарик-ковалик	<i>Phylloscopus collybita</i> (Vieillot, 1817)	5	4	-	-	6	-	-	-	15
Вільшанка	<i>Erithacus rubecula</i> (Linnaeus, 1758)	1	-	-	-	3	-	-	-	4
Ворона сіра	<i>Corvus cornix</i> (Linnaeus, 1758)	1	11	8	5	6	8	3	3	45
Галка	<i>Corvus monedula</i> (Linnaeus, 1758)	-	-	-	-	-	-	-	1	1
Голуб сизий	<i>Columba livia</i> (Gmelin, 1789)	-	5	9	19	-	6	-	31	70
Горихвістка звичайна	<i>Phoenicurus phoenicurus</i> (Linnaeus, 1758)	1	-	1	-	-	-	-	-	2
Горихвістка чорна	<i>Phoenicurus ochrurus</i> (S.G.Gmelin, 1774)	-	-	18	1	-	-	1	5	25
Горлиця садова	<i>Streptopelia decaocto</i> (Fridvaldszky, 1838)	-	1	-	-	1	2	3	-	7
Горобець польовий	<i>Passer montanus</i> (Linnaeus, 1758)	-	15	64	24	10	39	43	27	222
Горобець хатний	<i>Passer domesticus</i> (Linnaeus, 1758)	-	11	-	-	-	13	-	-	24
Дрізд співочий	<i>Turdus philomelos</i> (C.L.Brehm, 1831)	-	1	-	-	1	-	-	-	2
Дятел звичайний	<i>Dendrocopos major</i> (Linnaeus, 1758)	9	4	-	-	-	-	-	-	13
Дятел малий	<i>Dendrocopos minor</i> (Linnaeus, 1758)	-	-	-	-	-	1	-	-	1
Дятел середній	<i>Dendrocopos medius</i> (Linnaeus, 1758)	-	2	-	-	-	-	-	-	2
Дятел сирійський	<i>Dendrocopos syriacus</i> (Hemprich et Ehrenberg, 1833)	-	-	4	-	5	2	-	2	13
Жовна сива	<i>Picus canus</i> (Gmelin, 1788)	-	1	-	2	4	1	1	2	11
Зеленяк	<i>Chloris chloris</i> (Linnaeus, 1758)	4	1	3	9	-	6	3	1	27
Зозуля	<i>Cuculus canorus</i> (Linnaeus, 1758)	-	2	-	-	2	-	-	-	4
Зяблик	<i>Fringilla coelebs</i> (Linnaeus, 1758)	15	9	1	-	-	-	-	5	30
Квак	<i>Nycticorax nycticorax</i> (Linnaeus, 1758)	-	-	-	1	-	-	-	-	1
Крижень	<i>Anas platyrhynchos</i> (Linnaeus, 1758)	-	-	-	7	5	3	-	1	16
Кропив'янка чорноголова	<i>Sylvia atricapilla</i> (Linnaeus, 1758)	1	-	-	1	7	-	1	-	10
Крук	<i>Corvus corax</i> (Linnaeus, 1758)	-	1	-	-	3	-	-	-	4
Крутиголовка	<i>Jynx torquilla</i> (Linnaeus, 1758)	-	-	-	-	-	-	-	1	1
Курочка водяна	<i>Gallinula chloropus</i> (Linnaeus, 1758)	-	-	-	1	-	-	-	-	1
Ластівка міська	<i>Delichon urbica</i> (Linnaeus, 1758)	-	-	-	2	-	-	-	-	2
Ластівка сільська	<i>Hirundo rustica</i> (Linnaeus, 1758)	-	12	5	-	-	3	-	-	20
Лиска	<i>Fulica atra</i> (Linnaeus, 1758)	-	-	-	-	-	-	-	1	1
Лунь польовий	<i>Circus cyaneus</i> (Linnaeus, 1766)	-	-	-	1	-	-	-	-	1
Мартин звичайний	<i>Larus ridibundus</i> (Linnaeus, 1766)	-	-	-	-	-	3	-	-	3
Мартин жовтоногий	<i>Larus cachinnans</i> (Pallas, 1811)	-	2	-	-	-	3	-	1	6
Мухоловка білошия	<i>Ficedula albicollis</i> (Temminck, 1815)	-	26	8	1	12	-	-	5	52
Мухоловка сіра	<i>Muscicapa striata</i> (Pallas, 1764)	2	2	-	1	-	-	1	1	7
Одуд	<i>Upupa epops</i> (Linnaeus, 1758)	2	4	2	2	-	1	-	1	12
Очеретянка велика	<i>Acrocephalus arundinaceus</i> (Linnaeus, 1758)	-	2	-	-	-	-	-	-	2
Пірникоза велика	<i>Podiceps cristatus</i> (Linnaeus, 1758)	-	1	-	-	-	8	-	2	11
Плиска біла	<i>Motacilla alba</i> (Linnaeus, 1758)	-	3	3	-	-	2	3	8	19
Припутень	<i>Columba palumbus</i> (Linnaeus, 1758)	1	2	6	5	15	2	-	1	32
Ремез	<i>Remiz pendulinus</i> (Linnaeus, 1758)	-	-	-	2	-	3	-	-	5
Рибалочка	<i>Alcedo atthis</i> (Linnaeus, 1758)	-	-	-	2	-	-	-	-	2
Серпокрилець чорний	<i>Apus apus</i> (Linnaeus, 1758)	-	-	-	-	-	-	-	1	1
Синиця блакитна	<i>Cyanistes caeruleus</i> (Linnaeus, 1758)	-	1	-	1	-	-	3	-	5
Синиця велика	<i>Parus major</i> (Linnaeus, 1758)	18	23	16	10	32	4	6	19	128
Сова вухата	<i>Asio otus</i> (Linnaeus, 1758)	-	-	-	-	-	-	-	4	4
Сойка	<i>Garrulus glandarius</i> (Linnaeus, 1758)	2	2	8	-	14	-	-	-	26

Українська назва виду	Латинська назва виду	n особин								Загалом
		Лісопарк О	Лісопарк Л	Кладовище Ц	Парк К	Лісопарк ДН	Парк С	Парк М	Парк П	
Соловейко східний	<i>Luscinia luscinia</i> (Linnaeus, 1758)	–	4	3	–	3	–	–	–	10
Сорока	<i>Pica pica</i> (Linnaeus, 1758)	–	5	9	3	4	2	2	3	28
Сорокопуд терновий	<i>Lanius collurio</i> (Linnaeus, 1758)	2	7	–	–	–	–	–	–	9
Фазан	<i>Phasianus colchicus</i> (Linnaeus, 1758)	1	1	–	–	3	–	–	–	5
Чапля сіра	<i>Ardea cinerea</i> (Linnaeus, 1758)	–	2	–	–	–	–	–	–	2
Чикотень	<i>Turdus pilaris</i> (Linnaeus, 1758)	–	–	–	14	–	–	12	–	26
Шпак звичайний	<i>Sturnus vulgaris</i> (Linnaeus, 1758)	–	–	8	32	3	63	54	2	162
Щеврик лісовий	<i>Anthus trivialis</i> (Linnaeus, 1758)	5	–	–	–	–	–	–	–	5
Щиглик	<i>Carduelis carduelis</i> (Linnaeus, 1758)	–	–	–	2	–	–	3	–	5
Загалом		77	181	177	148	139	175	139	128	1164

\* Українські та латинські назви птахів подано відповідно до видання «Вітчизняна номенклатура птахів світу» [Fesenko 2018].

### Характеристика таксономічних груп

Найбільш різноманітним є ряд Горобцеподібні (Passeriformes), що становить 57% від загальної кількості видів, до якого належать 33 види. Друге місце за чисельністю видів посідає ряд Дятлоподібні (Piciformes) з 6 видами (10% від загальної кількості видів), тоді як ряд Голубоподібні (Columbiformes) представлений 3 видами (5% відповідно). Ряди Лелекоподібні (Ciconiiformes), Сивкоподібні (Charadriiformes), Журавлеподібні (Gruiformes), Сиворакшоподібні (Coraciiformes) та Соколоподібні (Falconiformes) представлені по 2 види кожен (по 2% від загальної кількості рядів). Інші ряди, а саме, Гусеподібні (Anseriformes), Зозулеподібні (Cuculiformes), Куроподібні (Galliformes), Пірникозоподібні (Podicipediformes), Серпокрильцеподібні (Ardeiformes) та Совоподібні (Strigiformes) — по одному виду (1% від загальної кількості рядів).

Більшу частку ряду Горобцеподібних займають представники родини Дроздові (Turdidae) — 6 видів, що становить 18% від загальної кількості видів цього ряду. Ця родина презентована такими видами: вільшанкою *Erithacus rubecula* (Linnaeus, 1758), горихвісткою звичайною *Phoenicurus phoenicurus* (Linnaeus, 1758), горихвісткою чорною *Phoenicurus ochruros* (S. G. Gmelin, 1774), дроздом співочим *Turdus philomelos* (C. L. Brehm, 1831), чикотнем *Turdus pilaris* (Linnaeus, 1758) та соловейком східним *Luscinia luscinia* (Linnaeus, 1758). Це свідчить про високу різноманітність видового складу в межах цієї родини, хоча чисельність окремих видів суттєво варіюється, від найменших показників у горихвістки звичайної та дрозда співочого (2 реєстрації особин) до найвищих у горихвістки чорної та чикотня — 25 та 26 реєстрації особин відповідно. Родина Воронові (Corvidae) займає друге місце за кількістю видів (15%), до неї належать види ворона сіра *Corvus cornix* (Linnaeus, 1758), галка *Corvus monedula* (Linnaeus, 1758), крук *Corvus corax* (Linnaeus, 1758), сойка *Garrulus glandarius* (Linnaeus, 1758) та сорока *Pica pica* (Linnaeus, 1758). Водночас, найбільш численним видом за кількістю реєстрацій у цій родині є ворона сіра (45 особин), тоді як галка була зафіксована лише один раз.

Третьою за чисельністю видів була родина Кропив'янкових (Sylviidae), яка складає 12% від всіх видів в ряді та представлена видами: вівчарик-ковалик *Phylloscopus collybita* (Vieillot, 1817) з найбільшою в цій родині кількістю траплянь — 15 реєстрацій, вівчарик жовтобровий *Phylloscopus sibilatrix* (Bechstein, 1793), кропив'янка чорноголова *Sylvia atricapilla* (Linnaeus, 1758) та очеретянка велика *Acrocephalus arundinaceus* (Linnaeus, 1758) з найменшою кількістю траплянь — 2 реєстрації.

Родина В'юркові (Fringillidae), яка складає 9% видів від всіх Горобцеподібних, демонструє помірну різноманітність і кількісний склад. До неї належать зеленяк *Chloris chloris* (Linnaeus, 1758) — 27 реєстрації особин, зяблик *Fringilla coelebs* (Linnaeus, 1758) — 30 особин, та щиглик

*Carduelis carduelis* (Linnaeus, 1758) — 5 особин, що вказує на більш рівномірний розподіл чисельності серед видів у порівнянні з іншими родинами.

Родина Синицеві (Paridae), яка складає 6% від загальної кількості видів ряду, представлена двома видами: синицею великою *Parus major* (Linnaeus, 1758) та синицею блакитною *Cyanistes caeruleus* (Linnaeus, 1758). Незважаючи на скромну кількість видів, ця родина мала велику чисельність реєстрацій, а саме синиці великої (128 реєстрацій особин), що робить її одним із найбільш домінантних видів серед усіх Горобцеподібних. Подібна ситуація спостерігається і в родині Шпаківі (Sturnidae) (3%), яка представлена лише одним видом — шпаком звичайним *Sturnus vulgaris* (Linnaeus, 1758), проте цей вид займає провідну позицію за кількістю реєстрацій (162 особини).

Також 6% від ряду становлять представники родини Горобцеві (Passeridae): горобець польовий *Passer montanus* (Linnaeus, 1758) — 222 особини, та горобець хатній *Passer domesticus* (Linnaeus, 1758) — 24 особини. Особливо виділяється горобець польовий, який домінує не лише у своїй родині, але є також одним з домінантів серед усіх зафіксованих видів.

Інші родини, такі як Ластівкові (Hirundinidae), Плискові (Motacillidae), Сорокопудові (Laniidae), Ремезові (Remizidae), Вивільгові (Oriolidae), Вівсянкові (Emberizidae) та Мухоловкові (Muscicapidae), були представлені по одному або двома видами, кожна з яких складала 3–6% видового складу в ряді Горобцеподібні. З представників перелічених родин найбільш чисельними видами за кількістю реєстрацій стали мухоловка білошия *Ficedula albicollis* (Temminck, 1815) з 52 реєстраціями особин, ластівка сільська *Hirundo rustica* (Linnaeus, 1758) з 20 реєстраціями та плиска біла *Motacilla alba* (Linnaeus, 1758), чисельність якої склала 19 реєстрацій особин. Таким чином, розподіл видів у родинях Горобцеподібних відображає як високу видову, так і чисельну неоднорідність угруповань.

Окрім ряду Горобцеподібних, інші ряди характеризуються меншою кількістю видів і особин. Так, у ряді Дятлоподібні (Piciformes), що включає 6 видів, усі представники належать до однієї родини — Дятлові (Picidae), що становить 100% від видового складу ряду. Це відображає специфіку цього таксономічного угруповання, де основними представниками є деревні види, пристосовані до проживання у лісових та узлісних екосистемах. Подібна ситуація спостерігається й у ряді Голубоподібні (Columbiformes), де три види належать до єдиної родини Голубові (Columbidae), що вказує на її виключне представництво в межах ряду Голубоподібні.

В той же час ряди, які включають лише два види, демонструють повну зосередженість у межах однієї родини. Наприклад, у ряді Лелекоподібні (Ciconiiformes) усі види належать до родини Чаплеві (Ardeidae), у ряді Сивкоподібні (Charadriiformes) — до родини Мартинові (Laridae), а в ряді Журавлеподібні (Gruiformes) — до родини Пастушкові (Rallidae), що вказує на відносно низьке таксономічне різноманіття в цих рядах. Про те, Сиворакшоподібні (Coraciiformes) та Соколоподібні (Falconiformes) були представлені двома видами двох рідних родин.

Інші ряди, які налічують по одному виду кожен (такі як, Зозулеподібні (Cuculiformes), Гусеподібні (Anseriformes), Куроподібні (Galliformes), Пірникозоподібні (Podicipediformes), Серпокрильцеподібні (Arpodiformes), Совоподібні (Strigiformes)), також демонструють максимальну концентрацію в одній родині. У таких випадках доля родини становить 100% у межах відповідного ряду, що свідчить про їх вузьку спеціалізацію або низьку частоту траплянь в умовах досліджуваних територій.

### **Характеристика досліджених ділянок**

Для глибшого розуміння активності пташиних угруповань та визначення екологічної цінності паркових, лісопаркових і приміських зон у межах міського середовища було здійснено детальний аналіз видового складу та чисельності птахів кожної дослідженої території лівобережної частини міста Дніпро. Цей підхід дозволив виявити специфіку видового складу,

чисельності та розподілу птахів, а також оцінити значення окремих ділянок для підтримання біорізноманіття в умовах урбанізованих територій.

**Обухівський ліс**, розташований на північному заході від м. Дніпро і є унікальним природно-територіальним комплексом, що поєднує елементи піщаної соснової арени, чагарникових заростей, а також штучних насаджень сосни звичайної та робінії звичайної. Завдяки віддаленості від жилих зон Обухівський ліс став осередком для багатьох лісових та узлісних видів птахів, зокрема таких, які не траплялися, або не так активно траплялися на інших досліджуваних ділянках, як, наприклад, щеврик лісовий *Anthus trivialis* (Linnaeus, 1758) (5 реєстрацій), що підкреслює важливість збереження даної ділянки для підтримання регіонального біорізноманіття. Інші цікаві знахідки включають вівчарика жовтобрового, який зазвичай трапляється в зрілих лісах, та одуда *Urupa epops* (Linnaeus, 1758), що є рідкісним для таких територій. Також, на відкритій ділянці поблизу лісу, за полюванням був помічений боривітер звичайний *Falco tinnunculus* (Linnaeus, 1758). У ході досліджень всього було зафіксовано 77 особин птахів, що належать до 20 видів. Найчисельнішими видами стали синиця велика із 18 реєстраціями (23,4% загальної кількості реєстрацій на цій території), та зяблик з 15 реєстраціями. Серед інших видів виділяються дятел звичайний *Dendrocopos major* (Linnaeus, 1758), зареєстрований 9 разів, та вівчарик-ковалик з 5 реєстраціями. Розподіл птахів за місцями спостереження демонструє їхню залежність від типів рослинності та наявних дерев. Найбільше реєстрацій було зроблено на сосні звичайній *Pinus sylvestris* L. — 42 випадки (54,5% від загальної кількості реєстрацій), що логічно, так як насадження цього дерева займають більшу частину площі лісопарку. Робінія звичайна *Robinia pseudoacacia* L. зайняла друге місце за кількістю реєстрацій — 20 випадків (26%). Інші дерева, як тополя чорна *Populus nigra* L., шовковиця чорна *Morus nigra* L., абрикос звичайний *Prunus armeniaca* L. та маслинка вузьколиста *Elaeagnus angustifolia* L., траплялися рідше, з кількістю реєстрацій у межах 1–7. Загалом Обухівський ліс вирізняється багатством видового складу птахів та екологічною різноманітністю, що створює умови для співіснування як звичайних, так і малопоширених видів. Узлісся та зарості чагарників у підліску створюють сприятливі умови для птахів лісового комплексу, наявність яких значно переважає на цій території.

**Ломівський лісопарк**, розташований у межах Амур-Нижньодніпровського району міста Дніпро, та являється великою зеленою зоною, що межує з житловими масивами Ломівський та Лівобережний. На території в 126 га розташувалися різноманітні біотопи, які хоч й межують одне з одним, але часто мають зовсім різні умови: старі соснові насадження без підліску перетікають у відкриті галявини з високим травостаном, з іншого боку яких розростається вже інший масив листових дерев, а ділянки прибережної зони прилягають до маленьких піщаних пляжів, або є зовсім порослими непрохідними заростями очерету. Найчастіше птахи фіксувалися на робінії звичайній — 45 траплянь, та тополі чорній із 31 реєстрацією. Значний відсоток реєстрацій також припадає на сосну звичайну та тополі білу *Populus alba* L. Всього на маршруті довжиною 5,9 км було зафіксовано 181 птахів, що належать до 34 видів. Різноманіття видів включає як типових мешканців лісових насаджень (вивільга *Oriolus oriolus* (Linnaeus, 1758), зяблик, синиця блакитна), так і представників відкритих ландшафтів (сорокопуд терновий *Lanius collurio* (Linnaeus, 1758), очеретянка велика). Найчисельнішим видом у парку є мухоловка білошия, з 26 реєстраціями, що свідчить про сприятливі умови для її гніздування та харчування. Друге місце за чисельністю займає синиця велика, із 23 реєстраціями, що є типовим для міських лісопаркових територій. Також помітними за кількістю є горобець польовий та хатній з 15 та 11 реєстраціями відповідно. Присутність хижих птахів, таких як боривітер звичайний, свідчить про наявність достатньої кормової бази та екологічного балансу території. Варто відзначити, що наявність таких видів, як дрізд співочий *Turdus philomelos* (C. L. Brehm, 1831), зозуля звичайна *Cuculus canorus* (Linnaeus, 1758), чапля сіра *Ardea cinerea* (Linnaeus, 1758), пірникоза велика *Podiceps cristatus* (Linnaeus, 1758) та фазан *Phasianus colchicus*

(Linnaeus, 1758), підкреслює унікальність території як середовища для проживання як типових, так і рідкісних для міських умов видів птахів. Різноманітна флора, наявність водойм і відносно не високий рівень антропогенного навантаження сприяють формуванню сприятливих умов для життя видів птахів що належать до різних екологічних комплексів, від лісового до синантропного.

**Цивільне кладовище** виявилось унікальною досліджуваною територією, яка, попри високе антропогенне навантаження, слугує притулком для широкого спектру птахів. На площі 22,3 га та маршруті довжиною всього лиш 3 км було зафіксовано 177 особин, що належать до 20 видів. Антропогенне покриття (плитка, стежки) та відсутність густої трав'янистої рослинності обмежують місця для наземного харчування, проте наявність підліску та низькорослих дерев створює мозаїчний ландшафт, сприятливий для багатьох видів. Найчисельнішим видом став горобець польовий із 64 реєстраціями. Його чисельність пояснюється близькістю до житлової забудови, яка забезпечує їжею та місцями для гніздування. Значною також була також присутність горихвістки чорної з 18 реєстраціями, що є цікавим випадком через брак типових для цього виду скелястих або антропогенних субстратів для гніздування. Це може свідчити про адаптацію виду до менш звичних умов, можливо, завдяки наявності ніш у вітроломах або підліску. Синиця велика з 16 реєстраціями та шпак з 8 реєстраціями, що були помічені в дуплах на робінії звичайній, підтверджують наявність таких гніздових місць на території кладовища. Присутність дятла сирійського *Dendrocopos syriacus* (Hemprich et Ehrenberg, 1833), що був зареєстрований 4 рази, додатково свідчить про достатню кількість старих дуплистих дерев, що створюють сприятливі умови для гніздування інших видів. Соловейко східний із трьома реєстраціями та інші лякливі види, такі та вивільга *Oriolus oriolus* (Linnaeus, 1758) демонструють, що, у більшості часу, низька відвідуваність людьми сприяє спокійним умовам для цих птахів.

**Парк Кирилівка** є невеликою рекреаційною зоною, на території якого знаходиться ставок, навколо якого зосереджена значна частина орнітофауни. Площа парку занедбана, характеризується наявністю високого травостану та слабко вираженим підліском, що обмежує різноманітність місць для гніздування і негативно впливає на пошук їжі деяким видам птахів. Попри це, парк є важливим середовищем існування як для синантропних, так і для водно-болотних та лісових видів. Найчисельнішим видом у парку виявився шпак звичайний із 32 реєстраціями. Його велика популяція пояснюється наявністю відповідних умов для гніздування та харчування, зокрема дупел у старих деревах та достатку корму. Горобець польовий з 24 реєстраціями свідчить про домінування синантропних видів у парку, що пов'язано з близькістю території до житлової забудови й також підтверджується частими реєстраціями таких видів, як голуб сизий *Columba livia* (Gmelin, 1789) — 19 реєстрацій). Також велика частина реєстрацій припала на ворону сіру — 5 реєстрацій. Через те, що територія парку у більшості закинута, відвідування людей й відповідно антропогенне навантаження є не таким високим як у інших досліджуваних парках, що розташовані серед міста. Тому також траплялися види з вищими вимогами до середовища існування, зокрема одуд і ремез *Remiz pendulinus* (Linnaeus, 1758), по дві реєстрації кожен вид. А гнізда чикотня та припутнів, знайдені під час дослідження, свідчать про значний потенціал парку як місця для гніздування птахів, що говорить про певну екологічну стабільність ділянки. З водно-болотних птахів були зареєстровані крижень *Anas platyrhynchos* (Linnaeus, 1758) — 7 реєстрацій, а також курочка водяна *Gallinula chloropus* (Linnaeus, 1758) та квак *Nycticorax nycticorax* (Linnaeus, 1758), кожен із яких трапився по одному разу. Рибалочка *Alcedo atthis* (Linnaeus, 1758) має 2 реєстрації, що свідчить про достатню якість водного середовища для збереження цього спеціалізованого виду в умовах міста. Серед дерев, що найбільше приваблюють птахів, домінувала верба плакуча *Salix babylonica* L. з 37 реєстраціями, в'яз гладкий *Ulmus laevis* Pall. з 17 реєстраціями та тополя чорна з 11 реєстраціями.

**Лісопарк Дружби народів** поєднує риси природного лісу та паркового ландшафту. Велика територія (104 га) з густою рослинністю, домінування старих дерев і відсутність активного людського впливу створює специфічні умови для птахів. Про те, незважаючи на розмаїття біотопів, щільність птахів на цій території відносно низька, це пов'язано з відсутністю відкритих галявин та дуже високим травостоєм, що знижує доступність місць для харчування певних видів. На ділянці було зафіксовано 139 особин птахів, що належать до 20 видів. Серед домінантів відзначено синицю велику — 32 реєстрації, припутня — 15 реєстрацій та сойку *Garrulus glandarius* (Linnaeus, 1758) з 14 реєстраціями. Ці види активно використовують старі дерева, особливо дуби, як місця для гніздування та джерело їжі. Особливий інтерес становлять дуплогнізні види, такі як дятел сирійський, жовна сива *Picus canus* (Gmelin, 1788), а також мухоловка білошия з відносно високою чисельністю в 12 реєстрацій. Лісопарк є привабливим для типових лісових та узлісних видів, таких як дрізд співочий, кропив'янка чорноголова та соловейко східний. А фазани (3 реєстрації) використовують густий травостій як укриття. Серед деревних насаджень домінують ясен пенсильванський *Fraxinus pennsylvanica* L. та робінія звичайна. А присутність різноманітних деревних порід, таких як липа широколиста *Tilia platyphyllos* Scop., дуб звичайний *Quercus robur* L., шовковиця чорна *Morus nigra* L. та черемха звичайна *Prunus padus* L. створює додаткову кормову базу.

**Парк Сагайдак** розташований на лівому березі Дніпра та поєднує в собі елементи прибережних, узлісних й відкритих урбанізованих біотопів. Загальна чисельність облікованих птахів становить 175 особин птахів, що належать до 21 видів. Основними особливостями цієї території є велика кількість старих тополь, які служать місцем гніздування для горобців, шпаків та деяких інших видів, а також великий пляж що приваблює птахів водно-болотного комплексу й слугує для них важливим місцем харчування. Зокрема, тут зафіксовано 8 особин пірникози великої, а також крижнів, мартина звичайного *Larus ridibundus* (Linnaeus, 1766) та мартина жовтоногого *Larus cachinnans* (Pallas, 1811) — по 3 реєстрації кожного виду. На вербі білій *Salix alba* L. було знайдено гніздо ремезів. Серед інших дерев, які активно використовуються птахами, слід відзначити сосну звичайну та клен ясенелистий, хоча їх частка в загальній кількості реєстрацій є незначною. На території також було зареєстровано багато видів таких як голуб сизий, ворона сіра і сорока. Присутність видів із широким екологічним спектром, таких як синиця велика і плиска біла, підкреслює адаптаційні можливості птахів у середовищі зі зміненою природою.

**Мануйлівський парк**, розташований поруч із парком Сагайдак, відрізняється наявністю як і більш відкритих територій, так і чагарників, що створюють сприятливі умови для деяких видів птахів. Куцистий підлісок, представлений садовим жасмином *Philadelphus coronarius* L. та бузком звичайним *Syringa vulgaris* L., забезпечує укриття та місця для гніздування, що приваблює чикотня (12 реєстрацій) та інших видів, таких як кропив'янка чорноголова (1 реєстрація), щиглик (3 реєстрації) та синиця блакитна (3 реєстрації). Водночас відкриті ділянки сприяють поширенню видів, які харчуються на ґрунті, таких як ворона сіра та плиска біла також по 3 реєстрації відповідно. Загальна чисельність реєстрацій птахів у цьому парку під час гніздового періоду становить 139 особин, що належать до 15 видів. Основну частину орнітофауни парку формують горобець польовий (43 реєстрації) та шпак звичайний (54 реєстрації). Деревна рослинність парку представлена переважно тополею чорною, кленом ясенелистим та берестом *Ulmus minor* Mill. Ці дерева формують основу зелених насаджень. З-поміж інших видів варто відзначити робінію звичайну та ясен пенсильванський.

**Парк культури та відпочинку Придніпровський** розташований у південно-східній частині міста Дніпра, має простору відкриту територію з нерівномірною щільністю розташування дерев, відсутністю підліску та значною кількістю відкритих ділянок, що створює сприятливі умови для синантропних видів та птахів, які шукають корм на землі (голуб сизий, горобець

польовий, одуд, плиска біла, ворона сіра). Наявність пляжу з прямим виходом до річки Дніпро додає території рекреаційного значення, але часта відвідуваність парку людьми створює специфічні умови для птахів. Загальна кількість реєстрацій склала 128 особин птахів, що належать до 24 видів. Найбільш чисельними стали типові представники урбанізованих середовищ голуб сизий з 31 реєстрацією і горобець польовий з 27 реєстраціями. Дуплогнізні види, що надають перевагу старим деревам, такі як дятел сирійський, жовна сива, крутиголовка *Jynx torquilla* (Linnaeus, 1758), були зафіксовані в помірній кількості, що свідчить про обмежену, але наявну доступність таких місць. Дупла дятлів були у великій кількості знайдені на старих обрізаних тополях з масивним стовбуром та густими водяними пагонами. Водночас відсутність підліску обмежує можливості для гніздування видів, що надають перевагу густій рослинності. Пляж і прилегла акваторія річки забезпечують середовище для водоплавних птахів, таких як крижень, пірникоза велика та лиска *Fulica atra* (Linnaeus, 1758), кожен із яких був зареєстрований по одному разу. Присутність мартина жовтоногого вказує на використання птахами прибережної території як зони для харчування.

### **Загальні особливості**

Отримані дані свідчать про певну залежність кількості реєстрацій і видів птахів від площі досліджуваних територій. Збільшення площі обстежених парків супроводжується зростанням кількості видів, однак цей зв'язок не є лінійним. Обухівський лісопарк є найбільшою ділянкою на лівому березі м. Дніпро (183,00 га), де зафіксовано 20 видів і 77 реєстрацій. Натомість Ломівський лісопарк, з меншою площею (126,00 га), демонструє вищі показники — 35 видів і 181 реєстрацію, що вказує на вплив таких факторів, як різноманітність середовищ існування, порід дерев, біотопів та підліску. Менші за площею території, як-от Парк Сагайдак (16,78 га) та Мануйлівський парк (8,72 га), також мають високу кількість реєстрацій (175 і 139 відповідно). Це пов'язано з їхнім розташуванням на березі р. Дніпро, що забезпечує різноманітність біотопів, сприятливих для існування різних екологічних комплексів птахів. Зокрема, тут присутні прибережні та водно-болотні біотопи, які приваблюють як типових лісових та узлісних видів, так і водоплавних, сприяючи високому видовому різноманіттю.

Таким чином, хоча більші площі територій потенційно забезпечують багатший видовий склад, визначальну роль у формуванні угруповань птахів відіграють екологічні особливості кожного парку.

Наявність певних місць гніздування відіграють ключову роль у формуванні угруповань птахів у міському середовищі, а типи та доступність субстратів визначають чисельність і видовий склад орнітофауни. Наявність чи відсутність цих субстратів визначає структуру угруповань птахів, за якою можна визначити найбільш сприятливі зони для їх розмноження. На досліджених територіях реєстрації птахів більше припадали на такі субстрати, як крони дерев, дупла, ґрунт і антропогенні елементи, зокрема будівлі, паркани, ліхтарі, дроти та інші платформи. Основними місцями перебування птахів на всіх досліджених територіях були: відкритий ґрунт (56 реєстрацій, що становить 43,8% від загальної кількості реєстрацій), де вони добували корм, зокрема у зоні скошеної трави, за ним ідуть дерева — тополя чорна, робінія звичайна та берест.

Аналіз біоморф є одним з класичних зооекологічних інструментів для встановлення загального типу екосистем, особливо екотонів. Також цей аналіз дає змогу встановити окремі особливості екосистем, які є значущими для певної систематичної групи тварин. Також цей аналіз дає змогу оцінити функціональне різноманіття певних таксонів тварин в екосистемах та використовувати це для потреб охорони природи [Акімов 1954; Ропомаренко 2005; Andryushchenko 2021]. Аналіз біоморф дав змогу оцінити екологічну значущість кожного парку та його роль у підтриманні орнітофауни. У ході досліджень проаналізовано просторовий розподіл гніздових біоморф птахів на ділянках лівобережної частини м. Дніпро, зокрема,

кількісний розподіл птахів за гніздовими біоморфами на цих ділянках, що дозволяє зробити висновки про їх екологічну цінність для видів із різними вподобаннями до умов існування (табл. 3).

Таблиця 3. Гніздові біоморфи птахів у межах досліджуваних ділянок\*

Table 3. Nesting biomorphs of birds within the surveyed areas

Гніздові біоморфи	n особин птахів								Загалом
	Лісопарк О	Лісопарк Л	Кладовище Ц	Парк К	Лісопарк ДН	Парк С	Парк М	Парк П	
Антропогенно-субстратна	–	43	96	46	10	61	44	64	364
Дуплогнізна	11	38	14	6	21	5	4	11	110
Дуплогнізно-антропогенно-субстратна	19	23	25	42	35	67	60	22	293
Кроново-деревна	21	31	25	28	35	7	18	14	179
Кроново-деречно-антропогенно-субстратна	2	13	8	5	9	8	3	3	51
Кроново-кущова	3	7	–	1	7	–	1	–	19
Наземна	17	18	6	1	15	2	3	8	70
Наземно-прибережна	–	2	–	8	5	9	–	2	26
Норна	–	–	–	2	–	–	–	–	2
Підліскова	4	2	3	9	1	6	3	1	29
Підлісково-антропогенно-субстратна	–	1	–	–	1	2	3	–	7
Плавуча-субстратна	–	1	–	–	–	8	–	3	12
Прибережна	–	2	–	–	–	–	–	–	2
Загалом	77	181	177	148	139	175	139	128	1164

\* Для скорочення обсягу таблиці частину назв парків представлено у формі акронімів, а саме: Лісопарк О — Обухівський лісопарк, Лісопарк Л — Ломівський лісопарк, Кладовище Ц — Цивільне кладовище, Парк К — Парк Кирилівка, Лісопарк ДН — Лісопарк Дружби народів, Парк С — Парк Сагайдак, Парк М — Мануйлівський парк, Парк П — Парк культури та відпочинку Придніпровський.

Найбільш чисельною за кількістю реєстрацій є біоморфа «антропогенно-субстратна», на яку припадає загалом 364 зустрічі птахів на всіх досліджуваних ділянках. Такий результат є очікуваним для умов міського середовища, де природні субстрати значною мірою замінені штучними елементами. Антропогенні субстрати, такі як дахи будинків, технологічні щілини в будівлях, стовпи та інші конструкції, створені людиною, стали важливим компонентом для існування птахів, особливо синантропних видів та тих, що адаптувалися до життя в місті. Ці види активно використовують штучні об'єкти як для будівництва гнізд, так і для забезпечення доступу до їжі практично за будь-яких умов. Найбільша кількість реєстрацій представників цієї біоморфи була зафіксована на території Цивільного кладовища (96 реєстрацій) та у Парку культури та відпочинку Придніпровський (64 реєстрації).

Другу позицію за кількістю реєстрацій посідає біоморфа «дуплогнізно-антропогенно-субстратна» із загальною кількістю 293 зустрічі. Найбільше представників цієї біоморфи було зафіксовано у Парку Сагайдак (67 реєстрацій) та у Мануйлівському парку (60 реєстрацій). До цієї групи належать види, такі як синиця велика та шпак звичайний, які зазвичай гніздують у природних дуплах, але демонструють високу адаптивність до міських умов, обираючи для гніздування будівлі, стовпи та інші антропогенні структури.

Третьою за чисельністю є біоморфа «кроново-деревна», яка представлена 179 реєстраціями. Гніздування у кроні дерев має певні переваги, зокрема доступність цього субстрату на багатьох досліджуваних територіях. Найбільше реєстрацій птахів цієї біоморфи зафіксовано у Лісопарку Дружби народів (35 реєстрацій) та у Ломівському лісопарку (31 реєстрація). Окрім того, значну представленість має біоморфа птахів, що гніздують у дуплах — «дуплогнізна», із загальною кількістю 110 реєстрацій. Найбільший внесок у цю категорію зробили ті самі ділянки, що і у випадку з біоморфою «кроново-деревна», — Лісопарк Дружби народів (21 реєстрація) та Ломівський лісопарк (38 реєстрацій). Ці лісопарки характеризуються великою площею та значним різноманіттям деревних порід, що створює сприятливі умови для птахів.

Види птахів, які зазвичай гніздують у підліску і належать до біоморфи «підліскова», такі як зеленьк та дрізд співочий, а також у кроні кущів — біоморфа «краново-кущова», зокрема сорокопуд терновий та кропив'янка чорноголова, були зафіксовані у незначній кількості. Це зумовлено відсутністю або недостатністю підліску в паркових зонах. Така ситуація свідчить про обмеженість підліску як субстрату для гніздування у міському середовищі. У більшості парків спостерігається обмежена площа підліску або повна його відсутність, що є критичним фактором для видів, які потребують густих кущів чи нижнього ярусу деревостану для облаштування гнізд. Підлісок виконує також важливу функцію для інших птахів під час гніздового періоду, слугуючи укриттям для молодняка, який ще не здатний до повноцінного польоту. Відсутність густих насаджень знижує привабливість територій для птахів, які шукають безпечні місця для захисту від хижаків та доступу до корму, особливо на рівні землі.

Наземно-прибережні субстрати, такі як зарості очерету, плавуча рослинність та мілководні ділянки, є ключовими для водно-болотних видів, таких як крижень, курочка водяна та мартини звичайний і жовтоногий *Larus cachinnans* (Pallas, 1811), що відносяться до біоморфи «наземно-прибережна». Найбільшу кількість цих птахів зафіксовано у парку Сагайдак (9 реєстрацій), розташованому поблизу пляжних зон на річці Дніпро, та у парку Кирилівка (8 реєстрацій), який включає невелике озеро.

Рідкісні біоморфи, такі як «норна» та «прибережна» (по 2 реєстрації відповідно), виявилися найменш представленими. Наприклад, біоморфа «прибережна» була зафіксована лише в Ломівському лісопарку. Основною причиною цього є недостатність природних умов, необхідних для цих видів. Зокрема, мова йде про відсутність водойм із прибережною рослинністю, заростей очерету, плавучих платформ, а також ерозійних форм рельєфу та урвищ, які могли б слугувати місцями для гніздування. Подібні умови є критичними для підтримання цих груп птахів, а їхня відсутність обмежує їх поширення в досліджуваних парках.

Порівняльний аналіз досліджених ділянок показує, що найбільш сприятливою зеленою зоною для птахів є Ломівський лісопарк, де були зареєстровані представники всіх гніздових біоморф, за винятком біоморфи «норна». Це зумовлено великою площею території, наявністю багатоярусної рослинності, виходами до води, а також низьким рівнем урбанізації. Завдяки таким умовам ця територія створює сприятливе середовище для функціонально різноманітних угруповань птахів. Також саме у Ломівському лісопарку було зафіксовано найбільшу кількість реєстрацій — 181 трапляння, що підтверджує його високу екологічну цінність.

Натомість найменше різноманіття гніздових типів біоморф було виявлено в Обухівському лісопарку та на Цивільному кладовищі, де зареєстровано лише по 7 з 13 можливих біоморф. Зокрема, в Обухівському лісопарку зафіксовано найменшу кількість траплянь птахів — 77 реєстрацій. Це зумовлено переважанням розріджених хвойних насаджень, які не формують суцільного верхнього ярусу, а також відсутністю густого підліску. Така структура рослинності суттєво обмежує можливості для гніздування птахів, особливо тих, які потребують густого підліску або добре розвиненого деревного ярусу для облаштування гнізд та укриття. Ділянка цивільного кладовища має іншу специфіку. Це старе кладовище з великою кількістю зрілих дерев, що створює певний потенціал для гніздування. Однак, через особливості території, такі як невелика площа, високий ступінь урбанізації, а також відсутність близькості до водних територій та наявності достатньої кількості кущів, тут також представлена обмежена кількість гніздових біоморф. Це свідчить про те, що навіть при наявності старого деревостану, відсутність структурного різноманіття біотопів може негативно впливати на біорізноманіття птахів.

## Висновки

У восьми досліджених зелених зонах, які включають міські парки, сквери, приміські лісові зони та цивільне кладовище, зареєстровано 1164 особини птахів, що належать до 58 видів із

16 рядів, 3 яких найбільш представленим є ряд Горобцеподібні (Passeriformes), до якого належить 33 види.

Найбільш чисельними за кількістю реєстрацій птахів є такі біоморфи: «антропогенно-субстратна», «дуплогнізно-антропогенно-субстратна», «краново-деревна» та «дуплогнізна». Найменш представленими виявилися біоморфи «норна» і «прибережна», що пояснюється недостатністю відповідних природних умов для їхнього існування.

Серед досліджених ділянок найбільш сприятливою зеленою зоною для птахів є Ломівський лісопарк, де були зареєстровані представники всіх гніздових біоморф, за винятком однієї — «норна». Це обумовлено великою площею території, розвинутою багаторусною рослинністю, наявністю виходів до води та низьким рівнем урбанізації. Завдяки таким умовам Ломівський лісопарк створює сприятливе середовище для функціонально різноманітних угруповань птахів. Саме тут було зафіксовано найбільшу кількість птахів, що свідчить про його високу екологічну цінність.

Загалом зелені зони лівобережжя міста Дніпро характеризуються недостатньою мозаїчністю середовища, що обмежує їхню привабливість для птахів. Для покращення умов існування орнітофауни доцільно реалізувати заходи зі збереження старих дерев, відновлення підліску, створення нових кущових насаджень та інтеграції водойм із розвинутою прибережною рослинністю. Крім того, необхідно збільшити кількість природних ландшафтних елементів, таких як урвища, ерозійні форми рельєфу, густий підлісок і крони кущів. Ці заходи сприятимуть збереженню та збагаченню біорізноманіття птахів у міському середовищі, особливо для видів, що потребують спеціалізованих місць для гніздування.

## Подяки

Автори висловлюють щирі подяки своїм сім'ям за неоціненну підтримку під час виконання польових робіт і збору матеріалу для цього дослідження. Окрему вдячність адресуємо нашому науковому керівнику Олександрю Пономаренку за його цінні рекомендації, і постійну підтримку протягом усіх етапів роботи. Також хочемо подякувати колезі з нашої дослідницької групи, Яні Маленик, за допомогу у зборі даних, аналізі результатів та підготовці статті.

## Декларації

Фінансування. Дослідження здійснювалося в межах дисертаційної роботи на тему «Угруповання птахів як індикатор гемеробії на прикладі міста Дніпро», яка виконується на кафедрі зоології та екології біолого-екологічного факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара аспіранткою Ю. А. Комлик.

Конфлікт інтересів. Автори не мають жодних конфліктів інтересів, які могли б вплинути на зміст цієї статті.

## References

- Akimov, M. P. 1954. Biomorphological method of studying biocenoses. *Bulletin of the Moscow Society of Naturalists, Department of Biology*, 27: 27–36. [Russian]
- Andryushchenko, Y. O. 2021. Taxonomic and ecological composition of the native groupings of the birds of the dry steppe zone of Ukraine. *Biosystems Diversity*, 29 (3): 225–234. <https://doi.org/10.15421/012128>
- Atemasova, T. A. 2023. Birds of the parks of Kharkiv city. *Bioriznomanittia, Ekologiya ta Eksperymentalna Biologiya*, 25 (2): 12–20. [In Ukrainian] <https://doi.org/10.34142/2708-5848.2023.25.2.02>
- Bibby, C., M. Jones, S. Marsden. 1998. *Expedition Field Techniques: Bird Surveys*. Royal Geographical Society, London, 1–137.
- Bokotey, A. A. 1995. Review of the ornithofauna of the city of Lviv. *Berkut*, 4 (1–2): 3–13. [Ukrainian]
- Borysov, V. V., V. O. Koshelev, O. I. Koshelev. 2020. Seasonal dynamics of consortive connections of birds in private gardens of Vilnyansk city (Zaporizhzhia region). *Zberezhennia Biologichnoho ta Landshaftnoho Riznomanittia*, 4 (31): 156–166. [Ukrainian] <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.4-31.25>
- Díaz, M., A. Ramos, E. D. Concepción. 2022. Changing urban bird diversity: how to manage adaptively our closest relation with wildlife. *Ecosistemas*, 31 (1): 2354. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2354>
- Dubovyk, O. 2019. Annual dynamics of bird communities in urban parks in Lviv, Ukraine: preliminary analysis of diversity and composition variability. *Studia Biologica*, 13 (2): 79–98. <https://doi.org/10.30970/sbi.1302.598>

- Fesenko, H. V. 2018. *Domestic Nomenclature of Birds of the World*. FOP Cherniavskiy D. O. ("Dionat"), Kryvyi Rih, 1–580. [Ukrainian]
- Fesenko, H. V., A. A. Bokotey. 2002. *Birds of the Fauna of Ukraine*. Ukrainian Society for the Protection of Birds, Kyiv, 1–378. [Ukrainian]
- Koshelev, O. I., Koshelev, V. O., Kopylova, T. V., Borysov, V. V. 2020. Monitoring of corvid birds in Melitopol city: nesting and winter aspects. *Ekolohichni Nauky*, **2** (29): 31–39. [Ukrainian] <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.2-29.2.5>
- Kuzio, H. 2016. Current state and prospects of ornithofauna research in the suburbs of Lviv city. *Visnyk of the Lviv University, Series Biology*, **72**: 3–14. [Ukrainian]
- Ponomarenko, O. L. 2005. Dynamics of the functional composition of bird communities in individual consortia of small-leaved linden (*Tilia cordata*). *Visnyk of the Dnipro University, Series Biology and Ecology*, **13** (1): 226–231. [Ukrainian]
- Ponomarenko, O. L. 2017. On the methodology of studying bird activity in tree stands. *Vestnik zoologii*, Supplement 35: 68–72. [Ukrainian]
- Shupova, T., A. Chaplygina. 2021. Birds diversity and faunogenetic structure of avifauna in forest parks of two megalopolises (Ukraine). *Studia Biologica*, **15** (3): 61–72. <https://doi.org/10.30970/sbi.1503.657>
- Shupova, T., V. Gaychenko, L. Raichuk. 2023. Nesting bird communities of urban forest parks suffer from recreational load (on the example of Kyiv, Ukraine). *BioRxiv*, 11–14. [Ukrainian] <https://doi.org/10.1101/2023.02.10.527978>
- Solomakha, I. V., V. V. Konishchuk, O. V. Mudrak, H. V. Mudrak. 2020. A study of the Emerald Network objects in Ukrainian forest-steppe of Dnieper ecological corridor. *Ukrainian Journal of Ecology*, **10** (2): 209–218. [https://doi.org/10.15421/2020\\_87](https://doi.org/10.15421/2020_87)
- Stankevych, O. I. 2004. Fauna and population of birds in Uzhhorod city during the nesting period. *Bulletin of the Uzhhorod University. Series Biology*, **15**: 123–128. [Ukrainian]
- Stankevych-Volosianchuk, O. I. 2017. Ornithofauna of Uzhhorod city. *Bulletin of the Uzhhorod University. Series Biology*, **43**: 31–39. [Ukrainian]

# The amphibian collections of the Zoological Museum of Ivan Franko National University of Lviv

Ihor Shydlovskyy, Bohdan Andriyishyn, Solomia Susulovska

Ivan Franko National University of Lviv (Lviv, Ukraine)

## article info

### key words

amphibian collections, conservation status, natural history museums, National University of Lviv.

### correspondence to

Ihor Shydlovskyy; Ivan Franko National University of Lviv, 4 Hryshevskiyi Street, Lviv, 79005 Ukraine; Email: shydlyk@gmail.com; orcid: 0000-0002-1003-2562

### article history

Submitted: 13.03.2024. Revised: 18.06.2024. Accepted: 30.12.2024

### cite as

Shydlovskyy, I., B. Andriyishyn, S. Susulovska. 2024. The amphibian collections of the Zoological Museum of Ivan Franko National University of Lviv. *GEO&BIO*, 26: 175–182. [Ukrainian, with English summary]

## abstract

Zoological collections concentrated in museums play an important role in the study of amphibians, their distribution and conservation. In Lviv, the zoological collection was formed at the Lviv University before 1784. Unfortunately, detailed descriptions of this collection have not been preserved. Currently, the oldest part of the amphibian collection housed at the Zoological Museum of Ivan Franko National University of Lviv consists of exhibited specimens, which were collected from different parts of the world during the second part of the 19th century. Materials stored in the scientific collections started to be collected somewhat later, first as duplicates of the main, exhibited specimens in case of their loss or colour fading, and only in the 1990s as a scientific material. In total, the amphibian collection comprises almost 600 specimens housed as more than 360 storage units that belong to more than 65 species of the world's fauna from 20 families and 2 orders: Caudata (22 species) and Anura (44 species). The amphibian collection is mostly represented by wet specimens fixed with formalin or alcohol and only few specimens are preserved as mummies. Most of the exhibits that represent the fauna of Ukraine were collected in the past 15–20 years in Lviv, Volyn, Zakarpattia, Ivano-Frankivsk, Khmelnytskyi, Kherson, and Donetsk oblasts of Ukraine. The most valuable specimens in the museum's amphibian collections are those of 10 species that have high conservation status according to the IUCN Red List of Threatened Species, 2022-2: *Atelopus ignescens*, *Ranodon sibiricus*, *Ambystoma mexicanum*, *Andrias japonicus*, *Proteus anguinus*, *Cynops ensicauda*, *Euproctus platycephalus*, *Calyptocephalella gayi*, *Adenomus kelaartii*, and *Pleurodeles waltl*. Geographically, the collection specimens came from the territory of five continents and no less than 21 countries of the world, although it represents only 0.7% of the world's amphibian diversity. Sixty-three specimens of seven species listed in the Red List of Ukraine (2021) are preserved in the museum collections, including *Salamandra salamandra*, *Triturus cristatus*, *Ichthyosaura alpestris*, *Lissotriton montandoni*, *Epidalea calamita*, *Bombina variegata*, and *Rana dalmatina*.

© 2024 The Author(s); Published by the National Museum of Natural History, NAS of Ukraine on behalf of GEO&BIO. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY-SA 4.0), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

# Колекції земноводних Зоологічного музею Львівського національного університету імені Івана Франка

Ігор Шидловський, Богдан Андрієшин, Соломія Сусуловська

**Резюме:** Важливу роль у вивченні земноводних та їхнього поширення, а в певній мірі й охорони відіграють зоологічні зібрання, зосереджені в музеях. У Львові зоологічна колекція була сформована у Львівському університеті до 1784 року. Точні описи цього зібрання на жаль не збереглися. Станом на сьогодні, найдавнішу частину зібрання земноводних Зоологічного музею ЛНУ ім. І. Франка (акронім — ZMD) формують експозиційні зразки, зібрані у різних куточках світу у другій половині XIX століття. Фондові матеріали почали збирати дещо пізніше, спочатку — як дубляж основних зразків, на випадок їхньої втрати, а згодом — у 90-х роках XX століття як науковий матеріал. Сумарно — близько 600 зразків земноводних, понад 360 одиниць зберігання, які належать до більше ніж 65 видів світової фауни з 20 родин і двох рядів — хвостаті Caudata (22 види) та безхвості Anura (44). За типами музейних зразків колекція представлена, головню мокрими препаратами залитими формаліном чи спиртом. Лише декілька натуралій представлені муміями. Більшість експонатів, які представляють фауну України, зібрані протягом останніх 15-20 років у Львівській, Волинській, Закарпатській, Івано-Франківській, Хмельницькій, Херсонській та Донецькій областях. Цінними в колекціях музею є зразки земноводних світової фауни з високим природоохоронним статусом у Міжнародному Червоному списку МСОП (Red List IUCN, 2022-2), до яких належать 10 видів, зокрема: *Atelopus ignescens*, *Ranodon sibiricus*, *Ambystoma mexicanum*, *Andrias japonicus*, *Proteus anguinus*, *Synops ensicauda*, *Euproctus platycephalus*, *Calyptocephalella gayi*, *Adenomus kelaartii* та *Pleurodeles waltl*. У географічному плані колекція зібрана на території п'яти континентів та не менше ніж 21 держави світу, хоч репрезентує лише 0,7 % світового різноманіття земноводних. Представників з Червоного списку України (2021) зберігається 63 музеалії, що належать до семи видів, зокрема: *Salamandra salamandra*, *Triturus cristatus*, *Ichthyosaura alpestris*, *Lissotriton montandoni*, *Epidalea calamita*, *Bombina variegata* і *Rana dalmatina*.

Ключові слова: колекції земноводних, охоронний статус, природничі музеї, Львівський університет.

Адреса для зв'язку: Ігор Шидловський; Львівського національного університету імені Івана Франка, вул. Грушевського, 4, Львів, 79005 Ukraine; Email: shydlyk@gmail.com; orcid: 0000-0002-1003-2562

## Вступ

Земноводні (Amphibia) — не надто чисельна, але унікальна група тварин, які відіграють значну роль в екосистемах, оскільки більшість з них здатні значну частину свого життя проводити у водному середовищі. Проте, попри своє уподобання і різноманіття оселищ вони є дуже вразливими і чутливими до навколишніх змін. Саме тому значна кількість видів земноводних знаходяться у природоохоронних переліках, зокрема, «червоних» книгах і списках різного рівня, від регіонального до міжнародного. В останньому переліку видів тварин, що занесені до Червоної книги України (версія 2021 р.) згадані дев'ять видів земноводних зі статусом «вразливий» — з 20, що входять до переліку фауни держави. До Європейського Червоного списку [Temple & Sox 2009] внесена майже чверть видів цієї групи тварин, що значно більше, ніж плазунів, птахів чи ссавців і 59 % з них становлять популяції, що зменшуються. Вчені вважають земноводних найвразливішою групою тварин. Зокрема, у Міжнародному Червоному списку тварин вказано, що два з кожних п'яти видів батрахофауни світу або 41 % знаходяться під загрозою зникнення, і криза продовжує загострюватися через тиск, викликаний діяльністю людини (у першу чергу через зміни середовища) та різноманітні захворювання [State 2023].

За окремими оцінками кількість видів земноводних у світі сягає від шести [Frost *et al.* 2006] до понад восьми тисяч [State 2023]. Зокрема, за базою даних Amphibiaweb їх є 8725 видів. В Україні поширені лише 20 видів, що становить 0,2 % світової фауни.

Важливу роль у вивченні земноводних та їхнього поширення, а в певній мірі й охорони відіграють зоологічні зібрання, зокрема, збірки зоологічних музеїв. Першу таку значну колекцію земноводних на початку XVIII століття зібрав нідерландський фармацевт Альберт Себа, а дещо пізніше подібними колекціями стали відомі природничі музеї у Парижі та Лондоні [Pysanets 2007].

У зоологічних музеях України зберігається чимало цікавих зразків земноводних світової фауни, але відсутність чи не доступність опублікованих каталогів не дають можливості зрозуміти повне багатство зібраних тварин цієї групи або порівняти зібрання музеїв між собою. Серед доступних нам каталогів колекцій земноводних опубліковані у 2003 р. каталог колекцій Зоологічного музею ННПМ НАН України «Хвостаті амфібії» [Pysanets 2003] і каталог колекцій земноводних та плазунів Зоологічного музею Чернівецького університету [Andriushchenko *et al.* 2003]. Пізніше, у 2009 р. опубліковані каталог амфібій та рептилій (крокодили і черепахи) з колекцій Музею природи Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна [Zinenko & Goncharenko 2009] і каталог колекції амфібій відділу герпетології та Зоомузею НДІ біорізноманіття наземних і водних екосистем України при Мелітопольському державному педагогічному університеті ім. Б. Хмельницького [Suriadna & Pysanets 2010]. Навіть ці доступні дані засвідчують значну кількість і видове різноманіття земноводних у колекціях Українських музеїв. Зокрема, найбільше їх зберігається у Зоологічному музеї ННПМ НАН України та відділі герпетології й Зоомузеї НДІ біорізноманіття наземних і водних екосистем України при Мелітопольському державному педагогічному університеті ім. Б. Хмельницького — 7270 зразків 35 видів та 5531 зразок 24 видів відповідно. Дещо менше зберігається у Музеї природи ХНУ ім. В. Н. Каразіна — понад 3000 зразків 110 видів світової фауни і, значно менше земноводних у колекціях Зоологічного музею ЧНУ ім. Ю. Федьковича — 48 зразків 27 видів.

Необхідність написання цієї статті обумовлена двома причинами. По-перше — представлення нових надходжень і висвітлення змін природоохоронного статусу окремих видів земноводних. По-друге — у 2019 році, в музеї випадково була пошкоджена частина колекцій, зокрема: тритон звичайний *Lissotriton vulgaris* — мокрий препарат (ЗХ-3 86) і мумія (ЗХ-3 341), саламандра плямиста *Salamandra salamandra* — мумія (ЗХ-3 393) та мокрі препарати ропухи сірої *Bufo bufo* (ЗХ-3 55 та ЗХ-3 116). Тому виникла необхідність провести ретельну ревізію, відновити пошкоджене і забезпечити подальше більш безпечне зберігання препаратів колекції земноводних. Під час опрацювання колекції нами додатково перевизначено окремі зразки за видовою та систематичною приналежністю. Саме під час опрацювання етикеткових даних, зокрема у зразка (ЗХ-3 170), який зберігався під назвою жаба червононога *Rana aurora*, з'ясовано, що жаба походить з поселення Руаха, Мапунга у Танзанії. Проте, жаба червононога поширена лише у Північній Америці і тому не може бути згаданим видом. Подальше опрацювання цього зразка і перевизначення його Олександром Зіненком (науковим співробітником ХНУ імені В. Н. Каразіна) показало, що доросла особина у циліндрі це *Ptychadena toumieri*, а ще дві молоді особини належать до роду *Sclerophrys*. У той же час перевизначено зразок під назвою мармурова жаба піщана *Tomopterna marmorata* (Peters, 1854) — єдиний представник з родини Рухісепхалідає, що зберігається у музеї та належить до старих зборів. Однак, виявилось, що цей зразок з інвентарним номером ЗХ-3 155 (старий номер ЗМ 957) — це часничниця (*Pelobates* sp.), без означення виду через відсутність інформації про походження зразка.

Усі зразки квакші східної *Hyla orientalis* до 2016 року, до публікації результатів молекулярних досліджень Хрістофера Дюфреснеса зі співавторами [Dufresnes *et al.* 2016] вважали райкою звичайною, *Hyla arborea*. Саме під такою назвою й зберігалися усі зразки нашого музею. Проте, квакша звичайна поширена в Україні лише в Закарпатті, на Буковині та у Чорноморському регіоні, іншу ж частину території держави заселяє квакша східна. Тому, частина квакш, зібраних на Поліссі та в Галичині (Львівська обл.) належать до виду квакша східна.

Аналогічно і з землянкою Палласа *Pelobates vespertinus*, вид який порівняно нещодавно був виділений зі східної форми часничниці звичайної *Pelobates fuscus* [Dufresnes *et al.* 2019], ареал поширення якої в Україні знаходиться в межах Запорізької, Донецької, Луганської і Харківської областей. Наш зразок, який походить зі Слов'янського району Донецької області, належить до цього виду.

## Історія створення та обсяг колекції

У Львові природнича колекція, зокрема зоологічна, була сформована у Львівському університеті до 1784 року. Точні описи цього зібрання на жаль не збереглися, але автори монографії про історію університету писали «Тут було 20 залів і великий Кабінет природознавства» [Finkel & Starzynski 1894a–b]. Кабінет, безумовно, виконував важливу просвітницьку функцію в місті, оскільки після пожежі в приміщеннях університету 1848 року, навчальний заклад переїхав до Ратуші, де на східному боці розташовувався Кабінет натуральної історії (про це автори готують окрему статтю). Якби Кабінет не мав певного особливого значення, то ймовірно, що його й не згадували б в описах, присвячених історії університету. Саме з таких міркувань можемо припустити, що до складу колекцій Кабінету, а з 25 лютого 1885 р. — Зоологічного музею, входили хоча б окремі експонати земноводних [Shydlovskyy & Zatushevskyy 2010].

Станом на сьогодні, найдавнішу частину зібрання земноводних Зоологічного музею ЛНУ ім. І. Франка (акронім — ZMD [Zagorodniuk & Shydlovskyy 2014]) формують експозиційні зразки, зібрані у різних куточках світу у другій половині XIX і на початку XX ст. У той період з більшості цікавих, екзотичних тварин виготовляли мокрі препарати, залиті спиртом чи формаліном. Адже, виготовлення їх не займало багато часу, а ефектний вигляд такого експонату був майже миттєвим.

Зазначимо, що колекції земноводних Зоологічного музею збирали упродовж тривалого часу — понад століття, проте у старих зразків етикетки з різних причин, головню через війни та переміщення колекцій, були втрачені, а на частині з них через зберігання у формаліні написи олівцем стерлися. Значна частина етикеток, зразків зібраних наприкінці XIX — на початку XX ст. містять лише інформацію про вид тварини або країну місця збору (напр.: Цейлон, Гаїті тощо). На них не зазначені дата збору та прізвища колекторів, що значно знижує їхню наукову цінність. Проте, вони виступають фактичним матеріалом, що піддається ревізії щодо поширення цих тварин у межах певних географічних чи адміністративних територій. Точнішими етикетки почали писати з початку XX ст., зокрема, здебільшого збереглися етикетки в матеріалах післявоєнного періоду (після II Світової війни), з 1948 р. і до наших днів. Лише п'ять зразків етикетовані початком XX ст., а саме: *Necturus maculosus* — 28.07.1917, *Rana temporaria* Linnaeus, 1758 — 22.06.1923, *Ranodon sibiricus* — Джунгарський Алатау, 28.07.1939, *Bufo viridis* — Казахстан, окол. м. Алма-Ати, 20.08.1938, *Rana amurensis* — Казахстан, берег р. Ілі, 19–20.05.1939 [Bilyak & Zatushevskyy 2010]. Таким чином, зразків земноводних, які зібрані упродовж XX століття у музеї зберігається лише 36 одиниць зберігання (далі — од. зб.), що становить близько 9% від загального обсягу колекції та є ще 35, де вказане лише місце збирання матеріалу, але за своїм виконанням і місцями збору це точно зразки кінця XIX — початку XX століть. Така кількість і представленість старих надходжень земноводних свідчить про випадковий характер зібрання.

Фондові матеріали музею почали збирати дещо пізніше, спочатку — як дубляж основних зразків, на випадок їхньої втрати, а згодом — у 1990-х роках як науковий матеріал. Найбільше поповнення колекцій земноводних відбулося вже у XXI ст. Сумарно до музею надійшло 178 од. зб., з яких найбільше у 2011 році — 62 од. зб. Нова активність роботи із колекцією земноводних була викликана виконанням наукових робіт та впорядкуванням її Іриною Біляк під керівництвом зберігача фондів Андрія Затушевського [Bilyak & Zatushevskyy 2010].

Під час підготовки статті, а одночасно й каталогу колекцій земноводних, проведено ревізію усіх старих зразків та інвентаризацію нових надходжень. Сумарно — близько 600 зразків тварин, понад 360 од. зб., які належать до більше ніж 65 видів світової фауни з 20 родин і двох рядів — хвостаті Caudata (22 види) та безхвості Anura (44). За типами музейних зразків колекція представлена, головню мокрими препаратами залитими формаліном чи спиртом. Частина старих зразків, оформлені в окремих циліндрах по 1-2 екземпляри, а нові — зберігаються у «моновидових» скляних банках, де в окремих поліетиленових кульках з прорізами для

проникнення фіксуєної рідини зібрані лише зразки одного виду земноводних. Лише декілька натуралій з цієї колекції представлені муміями, знайдених мертвими тварин. Станом на сьогодні усі зразки, які не знаходяться в експозиції зберігаються у фондосховищі.

Видову приналежність усіх музейних предметів перевірено й укладено відповідно до міжнародної бази даних по земноводних (Amphibiaweb, <http://amphibiaweb.org>). Загальна представленість різних таксонів земноводних, які зберігаються чи експонуються в зоологічному музеї наведена у таблиці 1.

Таблиця 1. Загальна кількість різних таксонів земноводних у колекціях ZMD

Table 1. Total number of different amphibian taxa in the ZMD collections

Родина	Видів	Екз.	Родина	Видів	Екз.
Ряд Caudata — Хвостаті земноводні			Pelobatidae — Землянкові	2	7
Nypobiidae — Кутозубові	3	4	Calyptocephalellidae — Шоломоголови	1	1
Cryptobranchidae — Критозябрецеви	1	1	Hylidae — Райкові	4	40
Proteidae — Протеєві	2	8	Bufoinae — Ропухові	13	64
Ambystomatidae — Амбістомові	1	1	Microhylidae — Карликові райки	1	1
Salamandridae — Саламандрові	14	128	Hyperoliidae — Жаби-стрибунці	1	2
Plethodontidae — Безлегеневі саламандри	1	2	Ptychadenidae — Птихаденові	1	12
Ряд Anura — Безхвості земноводні			Rhacophoridae — Веслоногові	1	1
Pipidae — Піпові	1	5	Dicroglossidae — Вилюязикові	2	2
Alytidae — Повитухові	2	4	Rhacophoridae — Веслоногові	1	1
Bombinatoridae — Кумкові	2	138	Ranidae — Жабові	11	174
			Загалом	65	596

Для всіх музейних предметів (зразків земноводних) перевірено сучасну латинську (згідно з Amphibiaweb), українську [Pysanets 2007, 2012, 2014] і англійську назви (згідно з Amphibiaweb та IUCN<sup>1</sup>). Окремим видам земноводних, для яких немає відповідних українських назв, назву наведено як переклад з англійської чи німецької мови, а у випадку ендеміків — подано прикметник назви регіону їхнього поширення. Проте, таких назв лише декілька. Перевірено також належність і категорію природоохоронного статусу усіх згаданих у каталозі земноводних, згідно з базою даних Міжнародного союзу охорони природи (ibid.).

## Зібрання з України

Більшість експонатів, які представляють фауну України, зібрані протягом останніх 15–20 років на території західних областей України. Всього у колекції музею їх зберігається 196 од. зб., або 60,9 % від загальної кількості зразків. Переважна більшість з них зібрані у Львівській області — 149 од. зб., хоч є збори й з Волинської — 20, Закарпатської — 15 (три з них лише з вказанням місця збору — Карпати), Івано-Франківської — 8, Хмельницької — два, по-одному зразку — з Херсонської та Донецької областей. Узагальнюючи інформацію про місця збору земноводних, можна засвідчити, що практично вся колекція зібрана у межах західних областей, виключення становлять лише два зразки, які походять з Херсонської та Донецької областей.

На особливу увагу заслуговують зразки видів, занесених до останнього видання Червоної книги України<sup>2</sup>, зокрема: саламандра плямиста (11 одиниць зберігання; далі — од. зб.), тритон гребінчастий *Triturus cristatus* (11 од. зб.), тритон альпійський *Ichthyosaura alpestris* (6 од. зб.), тритон карпатський *Lissotriton montandoni* (15 од. зб.), ропуха очеретяна *Epidalea calamita* (5 од. зб.), кумка жовточерева *Bombina variegata* (10 од. зб.) та жаба прудка *Rana dalmatina* (5 од. зб.).

Таблиця 2 демонструє, що найчисельніше в колекції представлені звичайні види земноводних, зокрема, жаба трав'яна, ропуха сіра, кумка червоночерева і представники комплексу жаби їстівної, які сумарно становлять 62,8 % (від загальної кількості од. зб. — 172) та 58,6 %

<sup>1</sup> IUCN Red List of Threatened Species (version 2022-2. <http://www.iucnredlist.org>).

<sup>2</sup> Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України 19 січня 2021 року № 29 «Перелік видів тварин, що заносяться до Червоної книги України (тваринний світ)».

(від загальної кількості зразків — 292 екз.). Найрідкіснішими у колекції ZMD виявилися зразки зі східним ареалом поширення — часничниця Палласа, з Донеччини та ропуха зелена, з Херсонщини (по одному зразку).

Таблиця 2. Видова представленість вітчизняної фауни земноводних у колекціях ZMD

Table 2. Species representation of the amphibian fauna of Ukraine in the ZMD collections

Вид	од. зб.	екз.	Вид	од. зб.	екз.
<i>Ichthyosaura alpestris</i> (Laurenti, 1768)	6	10	<i>Hyla arborea</i> (Linnaeus, 1758)	2	27
<i>Lissotriton montandoni</i> (Boulenger, 1880)	15	38	<i>Hyla orientalis</i> (Linnaeus, 1758)	9	11
<i>Lissotriton vulgaris</i> (Linnaeus, 1758)	10	34	<i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758)	29	33
<i>Salamandra salamandra</i> (Linnaeus, 1758)	10	13	<i>Epidalea calamita</i> (Laurenti, 1768)	5	5
<i>Triturus cristatus</i> (Laurenti, 1768)	11	12	<i>Bufo viridis</i> (Laurenti, 1768)	10	10
<i>Bombina bombina</i> (Linnaeus, 1761)	21	125	<i>Pelophylax esculentus</i> (Linnaeus, 1758) complex	52	54
<i>Bombina variegata</i> (Linnaeus, 1758)	10	13	<i>Rana arvalis</i> Nilsson, 1842	5	6
<i>Pelobates fuscus</i> (Laurenti, 1768)	3	4	<i>Rana dalmatina</i> Fitzinger, 1839	5	22
<i>Pelobates vespertinus</i> (Pallas, 1771)	1	1	<i>Rana temporaria</i> Linnaeus, 1758	70	80
			Загалом	274	498

## Цінні зразки

Аналізуючи етикетковий матеріал можемо стверджувати, що колекція земноводних репрезентує лише західну частину України і головним чином Львівщини. Проте, більшість цікавих та цінних зразків земноводних належать до старих зразків минулих століть. Саме вони репрезентують батрахофауну різних країн і континентів.

Найцікавішими у колекціях музею є зразки видів земноводних з високим природоохоронним статусом у Міжнародному Червоному списку МСОП, які належать 10 видам загальним числом 19 од. зб. (див. табл. 3). Земноводних, які мають природоохоронний статус «найменшої остороги» (Least Concern) зберігається ще 55 од. зб.

Аналізуючи походження цих рідкісних зразків можемо відзначити, що одна частина з них є старими, а інша — належить до нових надходжень. На нашу думку, найцікавішими із земноводних, які мають високий природоохоронний статус є (рис. 1): ропуха Джамбата *Atelopus ignescens* (ендемик Еквадору) — зразок привезений у музей наприкінці XIX та початку XX ст., на жаль на етикетці зазначено лише країну збору зразка; амбістома мексиканська *Ambystoma mexicanum* — усі зразки її у нашій колекції походять з неволі (утримувані в акваріумі); це саме стосується і шпоркової жаби гладенької *Xenopus laevis*, представники якої (альбіноси), імовірно потрапили до колекцій з акваріумів (альбіноси користуються більшою популярністю в любительських акваріумах), проте, на відміну від представників з природоохоронним статусом, шпоркова жаба відноситься до інвазивних видів у багатьох країнах та заборонена як домашня тварина [Measey *et al.* 2012]; жабозуб алатауський *Ranodon sibiricus* — зібраний ще 1939 р. в межах Джунгарського Алатау.

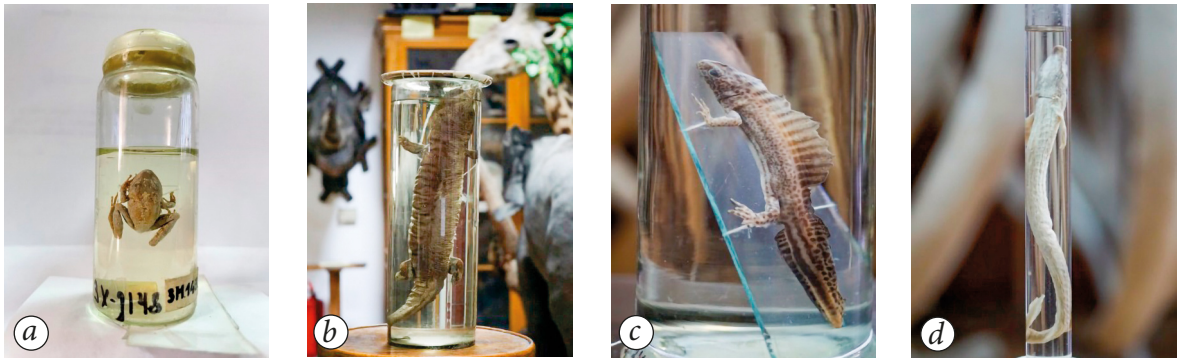
Таблиця 3. Перелік видів земноводних з високим природоохоронним статусом у Міжнародному Червоному списку (IUCN 2022-2)

Table 3. List of amphibian species with high conservation status according to the IUCN Red List (IUCN 2022-2)

Вид	Категорія*	Вид	Категорія
<i>Atelopus ignescens</i> (Cornalia, 1849)	CR	<i>Cynops ensicauda</i> (Hallowell, 1860)	VU
<i>Ranodon sibiricus</i> Kessler, 1866	EN	<i>Euproctus platycephalus</i> (Gravenhorst, 1829)	VU
<i>Ambystoma mexicanum</i> (Shaw and Nodder, 1798)	EN	<i>Calyptocephalella gayi</i> (Duméril, Bibron, 1841)	VU
<i>Andrias japonicus</i> (Temminck, 1836)	VU	<i>Adenomus kelaartii</i> (Günther, 1858)	VU
<i>Proteus anguinus</i> Laurenti, 1768	VU	<i>Pleurodeles waltl</i> Michahelles, 1830	NT

\* За: IUCN Red List of Threatened Species (Version 2022-2, <http://www.iucnredlist.org>), CR (Critically Endangered) — вид у критично загроженому стані, EN (Endangered) — вид під загрозою зникнення, VU (Vulnerable) — вразливий, NT (Near Threatened) — близький до загрози зникнення.

На жаль, велетенська саламандра японська *Andrias japonicus* (ендемик Японії), протей європейський *Proteus anguinus*, тритони окінавський *Cynops ensicauda* (ендемик Японії) і сардинський *Euproctus platycephalus* (ендемик о. Сардинія), шоломоголова жаба водяна *Calyptocephalella*



**Рис. 1.** Зразки амфібій з колекції музею: (a) ропуха Джамбата *Atelopus ignescens*, (b) велетенська саламандра японська *Andrias japonicus*, (c) тритон малоазійський *Ommatotriton vittatus*, (d) протей європейський *Proteus anguinus*. Фото Софії Питель-Гути.

**Fig. 1.** Amphibian specimens in the museum's collection: (a) *Atelopus ignescens*, (b) *Andrias japonicus*, (c) *Ommatotriton vittatus*, (d) *Proteus anguinus*. Photo by Sofia Pytel-Huta.

*gayi* (ендемік Чилі) і ропуха Келарта *Adenomus kelaartii* (ендемік Шрі-Ланки), також привезені наприкінці XIX та на початку XX століть, не мають деталізації щодо свого походження на етикетках. Усі зразки тритона іспанського *Pleurodeles waltl*, як зразка поширеного на утриманні в тераріумах походять з неволі. Крім того, у колекції музею значився тритон каліфорнійський *Taricha torosa* — за загальним виглядом оформлення, привезений у музей наприкінці XIX — початку XX ст., на жаль етикетка була втрачена. Проте, за розміром ця тварина надто велика і має добре виражений спинний гребінь та багато темних плям з боків тіла, що характерне для тритона гребінчастого *Triturus cristatus*, як і було перевизначено згадану особину.

## Географія наповнення колекції

Щодо фізико-географічного представлення колекції земноводних, вона зібрана на території п'яти континентів та не менше ніж 21 країни Земної кулі. Зокрема, з Ліберії та Німеччини походять — 6 од. зб., Канади — 4, по три — з Казахстану, США та Індонезії, по два — з Іспанії, Гаїті, Еквадору, Японії, Шрі-Ланки (Цейлон) та по одному — з Франції, Італії, Боснії, Угорщини, Куби, Чилі, Аргентини і Танзанії. Без географічних уточнень матеріал походить із Західної Африки, Сахари, Північної Америки та Альп.

Таким чином, колекція земноводних ZMD представлена невеликою кількістю зразків, зібраних у різних куточках світу і її репрезентативність складає лише 0,7 % від світового різноманіття цієї систематичної групи тварин. Проте, наявність у ній історично старих зразків і рідкісних представників земноводних, а також вибірок вітчизняної батрахофауни, на нашу думку, заслуговує на увагу науковців та всіх зацікавлених, щодо їх вивчення й охорони.

## Подяки

Під час опрацювання колекцій земноводних і підготовки цього каталогу значну допомогу у визначенні надали Остап Решетило, Назар Смірнов, Тарас Гринчишин, Тарас Микітчак, за що висловлюємо їм щирі вдячність. Особливу вдячність за початкові етапи впорядкування та вивчення цієї колекції виражаємо Ірині Біляк та Андрію Затушевському, а за визначення африканських жаб — Олександрі Зіненку.

## Декларації

Фінансування. Це дослідження виконано в рамках особистої ініціативи авторів.

Конфлікт інтересів. Автори не мають конфліктів інтересів, які могли б вплинути на зміст статті.

## References

- Andriushchenko, T. G., I. B. Tkebuchava, V. V. Levchuk. 2003. *Catalogue of Collections of Amphibians (Amphibia) of the Zoological Museum of the Chernivtsi National University*. Ruta, Chernivtsi, 1–24. [Ukrainian]
- Bilyak, I. T., A. T. Zatushevskyy. 2010. Collection of Amphibians of the Zoological Museum of Lviv National University. In: I. V. Skilskyi, N. A. Smirnov (eds). *Problems of Studying and Protecting the Animal World in Natural and Anthropogenic Ecosystems*. DrukArt, Chernivtsi, 271–273. [Ukrainian]
- Dufresnes, C., S. N. Litvinchuk, J. Leuenberger, K. Ghali, O. Zinenko, [et al.]. 2016. Evolutionary melting pots: a biodiversity hotspot shaped by ring diversifications around the Black Sea in the Eastern tree frog (*Hyla orientalis*). *Molecular Ecology*, **25** (17): 4285–4300. <https://doi.org/10.1111/mec.13706>
- Dufresnes, C., I. Strachinis, N. Suriadna, G. Mykytynets, D. Cogălniceanu, [et. al.]. 2019. Phylogeography of a cryptic speciation continuum in Eurasian spadefoot toads (*Pelobates*). *Molecular Ecology*, **28** (13): 3257–3270. <https://doi.org/10.1111/mec.15133>
- Finkel, L., S. Starzynski. 1894a. *Historia Uniwersytetu Lwowskiego. Cz. 1. Lwow*, 1–351.
- Finkel, L., S. Starzynski. 1894b. *Historia Uniwersytetu Lwowskiego. Cz. 2. Lwow*, 1–442.
- Frost, D. R., T. Grant, J. Faivovich, R. H. Bain, A. Haas, [et al.]. 2006. The Amphibian tree of life. *Bulletin of the American Museum of Natural History*. 297: 1–291. [https://doi.org/10.1206/0003-0090\(2006\)297\[0001:TATOL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1206/0003-0090(2006)297[0001:TATOL]2.0.CO;2)
- Measey, G. J., D. Rödder, S. L. Green, R. Kobayashi, F. Lillo, [et al.]. 2012. Ongoing invasions of the African clawed frog, *Xenopus laevis*: a global review. *Biological Invasions*, **14** (11): 2255–2270. <https://doi.org/10.1007/s10530-012-0227-8>
- Pysanets, E. M. 2003. *The Tailed Amphibians (Amphibia: Caudata). Catalogue of Collections of Zoological Museum. NMNH NAS of Ukraine, Kyiv*, 1–148. [Russian]
- Pysanets, Y. 2007. *The Amphibians of Ukraine (Guidebook for the Determination of Amphibians of Ukraine and Neighbor Countries)*. Rayevsky scientific publishers, Kyiv, 1–192. [Ukrainian]
- Pysanets, Y. 2012. *Amphibians of the Eastern Europe. Part I. Order Caudata*. Zoological Museum, NMNH NAS of Ukraine, Kyiv, 1–208. [Ukrainian]
- Pysanets, Y. 2014. *Amphibians of the Eastern Europe. Part II. Order Eucaudata*. Zoological Museum, NMNH NAS of Ukraine, Kyiv, 1–192. [Ukrainian]
- State ... 2023. *State of the World's Amphibians: The Second Global Amphibian Assessment*. Amphibian Specialist Group, IUCN, <https://www.iucnredlist.org/resources/sotwa>
- Suriadna, N. M., Y. M. Pysanets. 2010. *Amphibians (Amphibia: Caudata, Anura). Catalogue of Collections. Issue 1*. LLC Publishing House MMD, Melitopol, 1–92. [Ukrainian]
- Temple, H. J., N. A. Cox. 2009. *European Red List of Amphibians*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 1–32.
- Zagorodniuk, I. V., I. V. Shydlovskyy. 2014. Acronyms for Zoological Collections of Ukraine. In: Zagorodniuk, I. V. (ed.) *Zoological Collections and Museums*. National Museum of Natural History, Ukr. Acad. Sci., Kyiv, 33–43. [Ukrainian]
- Zinenko, O. I., L. A. Goncharenko. 2009. *Catalogue of the collections of the Museum of Nature at V. N. Karazin's Kharkiv National University. Amphibians (Amphibia). Reptiles (Reptilia): Crocodiles (Crocodilia), Turtles (Testudines)*. Kharkiv V. N. Karazin National University, Kharkov, 1–90. [Russian]

# Prominent collectors of mammalogical collections in museums of Kyiv in the context of the history of zoological collections

Igor Zagorodniuk

National Museum of Natural History, NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

## article info

### key words

natural history museums, mammalogical collections, collectors and museologists, history of research, Ukraine.

### correspondence to

Igor Zagorodniuk; National Museum of Natural History, NAS of Ukraine; 15 Bohdan Khmelnytsky Street, Kyiv, 01030 Ukraine;  
Email: [zoozag@ukr.net](mailto:zoozag@ukr.net);  
orcid: 0000-0002-0523-133X

### article history

Submitted: 01.09.2024. Revised: 30.10.2024. Accepted: 12.11.2024

### cite as

Zagorodniuk, I. 2024. P Prominent collectors of mammalogical collections in museums of Kyiv in the context of the history of zoological collections. *GEO&BIO*, 26: 183–200. [Ukrainian, with English summary]

## abstract

The article deals with the prehistory of the formation of modern zoological collections housed in museums of Kyiv with a significant mammalogical component. A large part of the oldest collections appeared as a result of hunting practices and have all the features of trophy collections. In fact, such collections formed the basis of the first scientific collections and exhibitions. The collectors and owners of such materials were mainly noble people. The appearance of small-sized objects was a sign of the next stage of development of collections that played a more didactic role, were reference specimens for various fauna control services or objects of special scientific research. Such collections were accumulated primarily as regional collections with low exhibition value, but important for the education and professional activity of biologists. The third stage was the systematic collection of various systematic and ecological groups for research and exhibition purposes. The fourth process is related to the sustainable functioning of taxidermy laboratories, for which it was important to have a constant supply of new materials, usually without expeditions or active collecting. The fifth part of the story, which in recent years has become an important source of acquisition, is the transfer of private and work collections, exchanges between museums, and acquisitions of collections from other, smaller institutions. Brief information about the main museum collections is given. From the entire corps of museum workers and collectors, a group of those who were closely associated with museums and worked in them or in related departments that took care of collections was singled out. These people belong to four groups (one or more): researchers, museologists, collectors, and taxidermists. A total of 32 people were briefly profiled, divided into two groups: ‘researchers-collectors’ and ‘collectors-taxidermists’. The names of key collectors and researchers whose materials have enriched museum collections are also given. The dynamics of the ‘museum’ group of persons in time is considered, with the distribution of years of life of each person. The trends of the current and possible further development of the museum society are analysed, which by all indications demonstrates a catastrophic decline over time, which began with the extinction of ‘collecting’ expeditions, the closure of studios and the loss of taxidermy schools, a general decrease in attention to morphological materials, and a change in public demands.

© 2024 The Author(s); Published by the National Museum of Natural History, NAS of Ukraine on behalf of GEO&BIO. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY-SA 4.0), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

# Визначні колектори теріологічних колекцій у музеях Києва на тлі історії зоологічних колекцій

Ігор Загороднюк

**Резюме.** Розглянуто передісторію формування сучасних зоологічних зібрань київських музеїв з визначною теріологічною складовою. Значна частина найдавніших колекцій була результатом мисливських практик і має всі ознаки трофейних зібрань. Власне, такі зібрання і становили основу перших колекцій та експозицій. Серед колекторів і власників таких матеріалів переважали вельможні люди. Поява дрібнорозмірних об'єктів була ознакою наступного етапу розвитку колекцій, які виконували більше дидактичну роль, були еталонними зразками для різного роду служб контролю фауни або об'єктами спеціальних наукових досліджень. Такі колекції накопичувалися передусім як регіональні зібрання, з найменшою експозиційною задачею, проте важливих для освіти і професійної діяльності біологів. Третім етапом став планомірний збір різних систематичних та екологічних груп з дослідницькою та експозиційною метою. Четверта стадія пов'язана зі сталим функціонуванням таксидермічних лабораторій, для яких важливим є постійний прихід нового матеріалу, звичайно без експедицій чи активного здобування. П'ята частина історії, яка останніми роками стала важливим джерелом поповнення колекцій, — передача приватних і робочих колекцій, обмін між музеями та отримання колекцій інших дрібних установ. Наведено стислі довідки про основні музейні зібрання. Із всього корпусу музейників і колекторів виокремлено групу тих, хто був тісно пов'язаний з музеями і працював в них або в суміжних підрозділах, які опікувалися колекціями. Цих людей охарактеризовано за належністю до чотирьох груп (їх комбінацій): дослідники, музеологи, колектори, таксидермісти. Всього підготовлено стислі довідки про 32 персони, за двома групами «науковці-колектори» та «колектори-таксидермісти». Наведено імена ключових колекторів і дослідників, матеріали яких збагатили колекції музеїв. Розглянуто динаміку «музейної» групи персон у часі, з розподілом років життя окремих персон. Проаналізовано тенденції поточного і можливого подальшого розвитку музейного соціуму, який за всіма ознаками демонструє катастрофічне згасання у часі, початком чого стало згасання «колекторських» експедицій, закриття майстерень і втрата таксидермічних шкіл, загальне зменшення уваги до морфологічних матеріалів, зміна суспільних запитів.

Ключові слова: природничі музеї, теріологічні колекції, колектори та музеологи, історія досліджень, Україна.

Адреса для зв'язку: Ігор Загороднюк; Національний науково-природничий музей НАН України; вул. Б. Хмельницького 15, Київ, 01054 Україна; Email: zoozag@ukr.net; orcid: 0000-0002-0523-133X

## Вступ

Музейна робота передбачає дуже різні форми діяльності, від збору і музеєфікації зразків до ведення їх обліку, роботи з науковими фондами, оформлення експозицій тощо [Weidacher 2005; Klymyshyn & Shydlovskiy 2017]. Першочерговим і ключовим етапом всієї такої діяльності є збір первинного матеріалу. Такий збір ведуть як професійні колектори, так і науковці, здійснюючи це в усіх можливих випадках і ситуаціях: в умовах спеціально організованих експедицій, в повсякденній роботі, отримуючи випадкових матеріал від аматорів, при обмінах колекціями з колегами або при зверненні колег для визначень або інших уточнень.

Така робота проводиться в кожному музеї, і вона особливо складна в природничих музеях, надто зоологічних, оскільки зоологічний матеріал представлений часто тим матеріалом, що може швидко псуватися, приваблювати некрофагів, він може бути токсичним або заразним, його далеко не завжди можна музеєфікувати простим висушуванням або вміщенням у фіксатори. Стосовно ссавців нормою є виготовлення опудал і тушок, препарування черепів або й всіх скелетів, фіксація окремих сегментів залежно від цінності матеріалу і задач досліджень (напр., вилучення ембріонів, паразитів тощо).

У рамках заходів до 50-річчя Українського теріологічного товариства НАН України (УТТ), яке діє при Національному науково-природничому музеї НАН України (ННПМ) в кінці 2022 року було видано два спеціальні випуски теріологічного бюлетеню в серії «Теріологія в Україні» — «Частина 1. 100 визначних дослідників минулого» та «Частина 2. Директорія сучасних теріологів» [Zagorodniuk 2022b-c], а 2023 року видано черговий випуск з низкою доповнень

[Zagorodniuk 2023a]. Разом у цих трьох випусках узагальнено відомості про 212 фахівців. Більшість з них так чи інакше пов'язані зі збором зоологічних зразків, а деякі (що характерно для науковців) були завзятими колекціонерами. Пристрасть до колекціонування — одна з примітних рис природничиків, зокрема й відомих біологів [Roe 1951; Kawahara & Pyle 2012], і тому колекції звичайно є добре впорядкованими і стало розвиваються (поповнюються, ревізуються, каталогізуються).

Значна частина таких фахівців працювали не тільки з матеріалом в полі чи лабораторіях, але й були співробітниками музеїв або «музейних» підрозділів, що обслуговували колекції, в межах різних установ. Власне, таким фахівцям і присвячено цей стислий огляд. Він далекий від бажаної повноти, проте вже сьогодні можемо зафіксувати той пантеон колекторів і музеологів, які створили базу сучасних колекцій та експозицій. Зупинимось на кількох ключових зоологічних зібраннях, що існують в Києві.

## **Прийняті скорочення і обсяг описів**

У описах використано низку скорочень, прийнятих у вузькопрофільних виданнях стосовно згаданих тут колекцій і назв установ і організацій. За абеткою:

АНУ — Академія наук Української РСР, ВПЕБ — Відділ популяційної екології та біогеографії ІЗАН, ВУАН — Всеукраїнська академія наук, ЗМАН — Зоологічний музей АН України (згодом ВУАН), ЗМКП — Зоологічний музей Київської політехніки, ЗМКУ — Зоологічний музей Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ІГБ — Інститут гідробіології НАН України, ІГН — Інститут геологічних наук НАН України, ІЗАН — Інститут зоології НАН України (у 1939–1941 та 1947–1965 рр. мав у підпорядкуванні ЗМАН), ІЗР-РКУ — Інститут захисту рослин Райхскомісаріату «Україна» (фонди і штат ЗМАН), ННПМ — Національний науково-природничий музей НАН України (зокрема ННПМ-з — відділ зоології), НУБіП — Національний університету біоресурсів і природокористування України (контекстно — Музей лісових птахів і звірів, нині у статусі навчальної лабораторії), СЕС — санітарно-епідеміологічна служба або станція (контекстно — порівняльні колекції при відділах особливо-небезпечних інфекцій СЕС); СТАЗР — станції захисту рослин; УАН — Українська академія наук (до формування ВУАН), УНТ — Українське наукове товариство (мова про Природничий музей при УНТ).

У згаданих вище обох довідниках про теріологів і доповненнях до них разом є 212 нарисів, з яких при впорядкуванні цього огляду враховано ті, що стосуються дослідників, які були афілійовані з київськими музеями або установами, що включали музеї: науковців, таксидермістів, «чистих» колекторів, аспірантів й докторантів (які могли бути й заочними, одночасно афілійованими до інших установ). Перелік охоплює тільки тих колег, які жили раніше. Такі дані зведено в табл. 1, в яку включено імена дослідників і колекторів, що були афілійовані з київськими музеями безпосередньо, або через установи, (університети, інститути), до яких музеї були підпорядковані. Статуси колег позначено в дужках після прізвищ (дослідник, музеолог, колектор, таксидерміст).

В низці випадків використано бази даних і каталоги колекцій, створені колегами, зокрема БД (у форматі MS access) колекції ННПМ (автор Л. Шевченко), БД (текстовий формат) колекції НУБіП (автор С. Шевченко), паперовий каталог колекції ЗМКУ (автор Ж. Розора). Такі дані дозволили суттєво розширити уявлення про обсяги, географію і хронологію зборів більшості дослідників і колекторів, а також доробки таксидермістів.

Тут розглянуто дослідників сучасної фауни, без палеонтологів і археологів.

## **Стисла історична довідка**

Природничі музеї стали неодмінною ознакою культурних і наукових центрів і столиць багатьох країни вже у XVIII–XIX ст., і набули поширення і в Україні, ставши неодмінним атрибутом її наукового й культурного простору [Klymyshyn & Shydlovskiy 2014; Chervonenko & Kepin

2022]. Розвиток природничих музеїв в Києві відбувався з середини XIX ст. з піковим злетом у першій чверті XX ст., і вони виникали переважно у форматі навчальних лабораторій, що обслуговували виші, рідше як зібрання наукових товариств або приватних колекціонерів; деякі формувалися як порівняльні робочі колекції, і лише з 1920-х років і надалі — як власне музеї у сучасному їх розумінні.

Їхню історію стосовно теріологічних зібрань розглянуто окремою працею «Зоологічні музеї та теріологічні колекції в Києві останніх двох століть» [Zagorodniuk 2022a]. Важливо зауважити, що теріологічна складова була одним з ключових атрибутів багатьох музейних збірок завдяки тому, що такі зразки являли собою експозиційну цінність у зв'язку зі значним поширенням трофейних полювань та різного роду сафарі. Понад те, нерідко вони залишалися на довгий час приватними збірками, як це було в Україні в історії теріологічних колекцій з унікальними зібраннями Бенедикта Дибовського (1833–1930), Олександра Браунера (1857–1941), Йосипа (Юзефа) Потоцького (1862–1922), Владислава Городецького (1863–1930) та багатьох інших іменитих і вельможних персон. На щастя, деяка частина подібних зібрань передавалася до наукових фондів університетів та академій, але це було далеко не завжди, і чимало колекції зникло в горнилах війн.

Поява дрібнорозмірних об'єктів була ознакою наступного етапу розвитку колекцій, які виконували більше дидактичну роль (передусім в університетах та гімназіях), були еталонними зразками для різного роду служб контролю фауни (станції й інститути захисту рослин, санепідемстанції, карантинні станції) або об'єктами спеціальних наукових досліджень (фауністика, порівняльна морфологія та анатомія, систематика тощо). Такі колекції накопичувалися передусім як регіональні зібрання, з найменшою експозиційною задачею, проте важливих для освіти і професійної діяльності біологів. Яскравим прикладом став розвиток природничих музеїв в Університеті св. Володимира [Paulson 1884; Biliashivsky 2012] та Педагогічного музею Києва [Zagorodniuk 2016].

Третім етапом (який насправді був завжди, проте був малопомітним на фоні перших двох задач) став планомірний збір різних систематичних та екологічних груп з власне дослідницькою метою і з задачами експонування широкого різноманіття морфологічних типів і життєвих форм, що поєднувало як власне наукові задачі, так і просвітницькі ідеї. Цей період відзначився значним ростом академічних зібрань і формуванням на їхній основі профільних інститутів, передусім в межах академій (ентомології й фітопатології, гідробіології, морської біології, зоології тощо). Проте і в університетах це було поширеним явищем, і тільки в ЗМКУ в період його розквіту в 1950–1970-х роках було сім (!) відділів [Biliashivsky & Rozora 2004], тобто стільки ж, скільки було і в Зоологічному музеї ВУАН у 1930-х роках, які з часом виокремилися в названі вище інститути [Onyshchenko 2003a–b; Zagorodniuk & Ocheretna 2019].

Четверта фаза історії пов'язана зі сталим функціонуванням таксидермічних лабораторій, для яких є важливим постійний прихід нового матеріалу, звичайно без експедицій чи активного здобування — мисливських трофеїв (які інколи передаються або частіше викупаються), активного пошуку і закупу чи здобування бажаних для експозиції зразків, отримання загиблих тварин в зоопарках, цирках чи звіринцях, передача унікальних зразків з зооринків чи митниць. Це до певної міри «фізіологічна» діяльність музеїв, яка вимагає постійного підживлення новим матеріалом, як для опудал чи мокрих препаратів, так і для остеології, яку називають «поточним комплектуванням» [Klymyshyn 2017].

П'ята частина історії, яка мала місце завжди, проте останніми роками стала чи не основним джерелом поповнення колекцій, — передача різноманітних приватних і робочих колекцій, обмін між музеями та отримання (поглинання) колекцій локальних музеїв і тематичних кабінетів найрізноманітніших установ (СЕС, заповідники, навчальні кабінети тощо). Цей останній процес ніяк не пов'язаний з колекціонуванням, проте є важливою турботою багатьох музеїв і музеологів, які відслідковують такі колекції і ситуації, які можуть призвести до їх втрати

внаслідок розформування тих чи інших підрозділів. На жаль, в частині випадків це неможливо через різні бюрократичні процедури, а таких прикладів є чимало, зокрема і в періоди воєн.

Нарешті, майже всі великі музеї почали або планують почати зібрання зразків для аналізу ДНК [Zinenko 2015], проте такі дослідження, важливі для аналізу біорізноманіття чи систематики, не мають жодної цінності для традиційних в музеях морфологічних досліджень та експозиційної діяльності. Окрім того, такі зразки вимагають більш складних умов зберігання і їх не можна досліджувати чи реідентифікувати якимось інакше, ніж в системі досліджень ДНК<sup>1</sup>, тому такі напрямки розвиваються в музеях повільно.

## Зібрання колишні й сучасні

Значна частина установ, а там паче музеїв при них протягом останніх двох століть зазнала надзвичайних трансформацій. Змінювалися назви, статуси і підпорядкування установ, їх відкривали й закривали, об'єднували і розділяли, змінюватися формальні адреси і фактичні місця локалізації, відбувалися війни і революції. Проте значна частина важливих колекцій зберігалася, і не останню роль в цьому грала зовсім не держава, якій почасти було не до колекцій. Турботу виявляли музейники, колектори, дослідники, турботами яких колекції зберігалися, переховувалися, перевозилися в умовах, коли стояло питання виживання самих фахівців, що не раз ставало предметом уваги [Radievska *et al.* 2016, 2018] і стосовно колекцій ссавців докладно розглянуто автором у статтях «ховрахи війни» [Zagorodniuk 2021a] та «їжак з Люксембурга» [Zagorodniuk 2023b].

Ключовими музейними збірками Києва з колекціями ссавців є такі:

- Природничий музей Українського наукового товариства (УНТ) — одна з ключових установ, яка сформувалася за участі зоологічних колекцій Орнітологічного товариства імені Кесслера в Києві, в колекціях якого однозначно були теріологічні зібрання. Консерватором музею до злиття УНТ з АНК і формування ВУАН (1.06.1921) був відомий колекціонер М. Шарлемань, з яким колекції УНТ однозначно і перейшли до ЗМАН [Zagorodniuk 2015].

- Зоологічний музей Київської політехніки (ЗМКП) — один з найважливіших зоологічних музеїв, що забезпечував в КПІ як педагогічний процес, так і наукові дослідження провідної на той час кафедри і провідного колективу зоологів, в числі яких Юрій Вагнер, Олександр Лебедев, Сергій Оболенський, Феодосій Добржанський, низка не менш відомих дослідників. Важливі віхи цього центру описано в огляді О. Лебедева «Зоологічна лабораторія за 25 років існування» [Lebedev 1924]. Аналіз фото з експозиції музею засвідчує, що значна частина матеріалів була втрачена [Zagorodniuk 2021b].

- Зоологічний музей Київського університету (ЗМКУ) має давню історію, що сягає початків самого університету (1834) і в подальшому забезпечував функціонування кафедри зоології, а разом із ним був і анатомічний музей [Biliashivsky & Rozora 2004; Biliashivskiy 2012]. Давні колекції були, найімовірніше, втрачені в період розформування університету більшовиками (1920–1933), а остаточно знищені пожежею восени 1943 р., а тому з 1946 р. музей формувався *de novo* [ibid.]. Частина колекцій, зокрема з анатомічного музею КУ, збереглася в ННПМ [Zagorodniuk 2022a]. Наразі ЗМКУ — одна з найважливіших теріологічних колекцій з широкою географією зразків [Rozora *et al.* 2014].

- Зоологічний музей УАН — самостійна установа, що існувала протягом 1919–1934 років<sup>2</sup> і принаймні тричі міняла свої адреси. Його перший етап описано у В. Караваєва [Karavaev 1926], а наступний — у М. Шарлеманя [Sharleman 1932, 1935]. Із 1934 року ЗМАН увійшов до

<sup>1</sup> Прикладом є недавня (2021) ідентифікація проби «тхора», переданої нами від наших українських колег до Національного природознавчого музею Угорщини, як kota свійського (*Felis catus*).

<sup>2</sup> «1919–1934» — це крайні дати діяльності установи, хоча *de facto* робота ЗМАН розпочата 2021 р., зі створенням ВУАН, а припинення існування установи розпочато за постановою 1931 р. про злиття зоомузею з Інститутом біології і створенням Інституту біозоології, відомого як Зообін [Zagorodniuk & Ocheretna 2019].

складу Зообіну ВУАН на правах сектору з п'ятьма відділами (зокрема й хребетних, палеонтології, експозиції), проте статус постійно мінявся — від формування відділу фауністики замисить ЗМАН у 1934 р. (при М. Шарлемані) до повторного виокремлення музею в самостійний відділ з 1938 р. (під орудою Парамонова).

- Інститут зоології АН УРСР (ІЗАН) сформований як музейний фрагмент Зообіну після низки виокремлень з нього підрозділів в окремі інститути (останній — Інститут гідробіології у 1939 р.), проте вже у 1941 р. в евакуації ІЗАН увійшов до відновленого Зообіну, а частина, що була в окупації (1941–1943), була розформована, з вивозом частини колекцій до Уфи, передачею частини колекцій до новоствореного Інституту захисту рослин [Zagorodniuk 2021a], а іншої частини — до об'єднаного (з ЗМКУ) дидактичного музею [Biliashivsky & Rozora 2004]. По війні музей відновили в будинку ВУАН (у складі ІЗАН), і він надалі існував у статусі лише експозиції, з роздачею колекцій по відділам ІЗАН [Zagorodniuk 2022a]. З 1965 р. і ІЗАН сформовано два «музейні відділи» (зоології та палеонтології)<sup>3</sup>, а 1967 р. відкрито «Центральний науково-природничий музей» (ЦНПМ, нині ННПМ) [Pohrebniak *et al.* 2010], ці два відділи наступні 30 років існували при ІЗАН.

- Національний науково-природничий музей НАНУ сформувався на основі згаданого ЦНПМ у 30-річницю його існування після отримання статусу «національний» і переведення у 1997–1998 рр. музейних відділів з ІЗАН та інших інститутів (геології, зоології, ботаніки) до ННПМ. Цей процес супроводжувався і передачами частини фондів колекцій, що загалом заплутало історію колекцій: значна частина колекцій залишилася у попередніх статусах — як робочі колекції значної частини відділів ІЗАН, ІГН, ІГБ. Проте щодо теріологічних колекцій помітна частина їх була зосереджена в обох музейних відділах ІЗАН, тому вони врешті опинилися в ННПМ [Zagorodniuk 2022a], хоча ще значна частина колекцій виявилася розпорошеною по різних відділах [Akimov *et al.* 2016], де продовжується їх занепад через відсутність належного догляду. Теріологічні колекції ННПМ пройшли повну інвентаризацію, і для всіх рецентних видів опубліковано каталоги [Shevchenko 2015]. Загальний обсяг колекції 20,3 тис. екз. у відділі зоології [Pohrebniak *et al.* 2010], ще близько 3 тис. екз. є у порівняльній колекції відділу палеонтології (без викопних зразків).

- Природничі музеї НУБіП — одні з найбільш спеціалізованих: це Музей лісових птахів і звірів (МЛПЗ) при Інституті лісового і садово-паркового господарства та Музей анатомічний при факультеті ветеринарної медицини. Перший зоологічний музей створено при лісогосподарському інституті (нині НУБіП) при відокремленні його від КПІ (див. вище про ЗМКП). Вважається, що значна частина колекцій була виведена до війни в Німеччину<sup>4</sup>; окрім того, у 1942 р. будівлю з музеєм було зруйновано, і по війні музей створювали *de novo* [Shevchenko *et al.* 2015], як і ЗМКУ. Другий музей — музей анатомії — також є формально послідовником анатомічного музею сільгоспакадемії, який існував до війни на Васильківській, проте був зруйнований і по суті створений *de novo* в новій будівлі факультету ветеринарної медицини НУБіП лише у 1989 р.; в ньому зберігається 1,5 тисячі анатомічних експонатів, включно з кістками різних груп ссавців.

- Інші локальні музеї (при Інституті гідробіології НАНУ, Національному медичному університеті імені О. Богомольця) — такі музеї виконують виключно експозиційні або дидактичні функції, без розвитку наукових фондів чи проведення спеціальних досліджень зразків. Історія таких музеїв невелика, і публікацій практично немає. Обидва згадані музеї пов'язані з ім'ям Ю. Волненка, який докладав зусиль для їх створення і розвитку (ІГБ, медінститут). Врешті, в ІГБ ідея музею згасла (проіснував у 1984[?]-1988[?] роках, натомість музей при

<sup>3</sup> Історія формування і назви відділів складніші, детальніше див.: [Zagorodniuk 2022a].

<sup>4</sup> Що не дуже правдоподібно, оскільки посилань не наведено, а подібних описів і літературі й не відомо. Проте відомо, що перед самою війною колекції перевозили підводами в центр Києва, ймовірно до ЗМКУ.

медінституту існує дотепер<sup>5</sup>. Був музей і при пединституті (нині Національний педуніверситет), започаткований 2003 р., проте по суті це лише забезпечений наочностями навчальний кабінет [URL], і наразі йде процес його розформування<sup>6</sup>. Через відсутність фондів колекцій, важливих для досліджень, ці музеї не включено до огляду теріологічних колекцій Києва [Zagorodniuk 2022a].

## Реєстр провідних дослідників і колекторів

Інформація подана в максимально стислому вигляді, із зазначенням прізвища, імені, років життя, напрямку роботи, обсягу наявних колекцій і назв музеїв, де вони зберігаються. Для численних посилань на статті в *Novitates Theriologicae* (№ 14–16) створено стислі позначення посилань без наведення їх в бібліографії, у форматі [pdf] або [doi]. Публікації самих дослідників тут не наводяться (виняток — каталоги колекцій). Загалом список включає 33 персони (табл. 1), який у майбутньому важливо доповнювати.

**Таблиця 1. Зведена таблиця імен теріологів з визначним внеском у розвиток колекцій ссавців у музеях Києва (тільки прізвища, за абеткою)**

**Table 1. A summary table of names of mammalogists who contributed significantly to the development of mammal collections housed in museums of Kyiv (only last names, alphabetically)**

Музей	Дослідники (Д), музеологи (М), колектори (К) і таксидермісти (Т)
ЗМКУ	Паульсон (М), Антонович (КТ), Бондаренко (КТ), Корнєєв (ДМК), Лубкін-1 (МТ), Писарева (МКТ)
ЗМАН	Більський (ДМ), Браунер (ДМК), Крижов (ДМК), Лубкін-2 (МТ), Мигулін (ДК), Оболенський (ДК), Підоплічко (ДМК), Шарлемань (ДМК), Щербина (ДК)
ЗМІЗАН	Абеленцев, [Антонович]**, Аргиропуло (ДК), [Більський], [Бондаренко], Волненко (ДМКТ), Гіренко (МК), Заблудовський (КТ), Ізотов (ДК), Крижанівський (ДМК), Решетник (ДМК), Сокур (ДМК), Сележинський (Т), Попов (ДК), Пржебильський (К), Тягунов (ДК), Яценя (ДКТ)
ННПМ*	Золотухіна (ДМК), [Підоплічко]
НУБіП	Вагнер (ДМ), Данилович (ДМКТ), Салганський (ДМК), Славков (МКТ), [Тягунов]
Разом	33 персони (без повторів)

\* ННПМ веде відлік із 1966 р., проте колективи відділів залишалися у підпорядкуванні академічних інститутів до 1996–2008 рр.; \*\* у квадратних дужках подано повтори, пов'язані з переходами до інших установ.

## Дослідники і колектори зі штату музеїв

Ця частина директорії включає колег дослідників і музеологів, більшість з яких були одночасно і колекторами, імена яких позначено в табл. 1 індексами «Д» і «М». Чималій кількості згаданих тут дослідників присвячено пам'ятні статті. Окрім наведених тут енциклопедичних нарисів у *Novitates Theriologicae* № 14–16, які охоплюють абсолютну більшість згаданих далі теріологів, такі публікації є про В. Абеленцева, А. Аргиропула, О. Браунера, Л. Гіренка, О. Корнєєва, В. Крижанівського, О. Мигуліна, І. Підоплічка, Б. Попова, Є. Решетник, О. Салганського, І. Сокура, М. Шарлеманя. Окремі з таких статей прямо присвячені внескам цих дослідників у розвиток музеїв та колекції [напр., Pidoplichko 1968; Lobkov 1997; Zagorodniuk 2014, 2017; Korobchenko 2016].

- Абеленцев, Василь (1913–1980) — провідник теріолог України 1950–1980-х років, автор обох відомих випусків «Фауни України» з оглядами кажанів, комахоїдних і мустелових [Abelentsev *et al.* 1956; Abelentsev 1968]. У колекції ННПМ відомо 1564 зразки ссавців (напевно їх більше). Про дослідника: [PTS15 doi] [NT14 pdf].

<sup>5</sup> Єдиною згадкою є тези доповідей співробітників цього університету про значимість музейних колекцій для викладання медико-біологічних дисциплін, проте з прикладами використання експозиції і фондів ННПМ [Novosad *et al.* 2019]. На вебсайті цієї кафедри [URL] згадки про музей немає, проте через пошук на сайті можна знайти розділ «Університетські колекції» з виходом на вебсторінку «Зоологічна колекція кафедри біології» (URL). З опису видно, що це не музей, а обладнаний наочностями тематичний кабінет.

<sup>6</sup> Протягом 2022–2023 рр. до ННПМ не раз приходила їхня представниця з питаннями передачі колекцій.

- Аргиропуло, Анатолій (1908–1942) — один із найяскравіших дослідників, що розпочав свій шлях в ЗМАН, а згодом переїхав до ЗІНу (СПб). Автор низки зведень про окремі систематичні групи (мишей, ховрахів, полівок), а також визначників гризунів і їхніх паразитів. Колектор зразків в ННПМ. Про дослідника: [NT14 pdf].
- Браунер, Олександр (1857–1941) — один із визначних дослідників півдня України, колектор тисяч зразків (значна частина колекцій — збори інших, що не завжди відмічено на етикетках), в ННПМ є 2044 зразки ссавців, у т.ч. 1089 як «колекція Браунера». Був у штаті ЗМАН у ???–1934 р. Про дослідника: [NT14 pdf].
- Більський, Борис (1887–1964) — один із керівників ЗМАН 1930-х років. Будучи передусім фахівцем у галузі захисту рослин, досліджував не тільки комах, але й ссавців, і мав публікації про них (тушкан). Доклав зусиль для передачі до ЗМАН низки колекцій локальних установ — заповідників, музеїв, кафедр. Про дослідника: [NT16 doi].
- Вагнер, Юлій (1865–1945) — розбудовник музею ЗМКП і створеного на тій основі музею НУБіП [Shevchenko *et al.* 2015], до переїзду в Київ у 1898 р. був хранителем Зоотомічного кабінету Санкт-Петербурзького університету (1889–1898). Його син Микола (1893–1953) — відомий природничник, музейник<sup>7</sup>. Про дослідника: [web].
- Гіренко, Леонід (1918–1975) — один із розбудовників теріологічної експозиції ННПМ, дослідник екології гризунів (полівки, пацюки, ховрахи), методик їх обліку і дослідження. Був науковим редактором журналу «Вестник зоологии». Зібрав колекції гризунів, що частково збереглися в ННПМ. Про дослідника: [PTS12 pdf] [NT14 pdf].
- Данилович, Олександр (1903?–1953?; фото невідоме) — дослідник фауни Подніпров'я, в теріології — автор низки праць з екології переважно гризунів (бобрів, вивірок, сонь); колектор гризунів, з яких частина збереглася в НУБіП (173 екз.) [Shevchenko *et al.* 2015] та в ННПМ (8 екз.) [NT16 doi]. Про дослідника: [NT16 doi].
- Золотухіна, Світлана (1936–2012) — дослідниця екології гризунів, співробітник ЗМКУ (на початку кар'єри) і ННПМ (на пенсії). Одна з колекторів гризунів у ВПЕБ (ІЗАН), частково переданих до ННПМ (557 екз. 21 виду); автор двох каталогів колекцій ссавців [Shevchenko & Zolotukhina 2002, 2005]. Про дослідницю: [NT14 pdf].
- Корнеев, Олександр (1903–1987) — один із провідних теріологів Київського університету до і повоєнного часу, розбудовник ЗМКУ після В. Артоболевського, організатор активного використання колекцій для навчання, організатор кількох випусків наукових праць ЗМКУ. Колектор сотень зразків. Про дослідника: [NT14 pdf].
- Крижанівський, Валентин (1938–2008) — один із авторів експозиції зали ссавців ЦНПМ (нині ННПМ). Керівник відділу ІЗАН, з якого у 1963–1965 р. виокремився відділ зоомузею. Учасник багатьох експедицій, зокрема й азійських, у 1961–1973 рр., з яких привіз до фондів ННПМ 300 екз. ссавців. Про дослідника: [NT14 pdf].
- Крижов, Петро (1902–1938) — дослідник дрібних ссавців, переважно гризунів, а також теріофауни Центрального Полісся. Автор першої ревізії й інвентаризації колекції ссавців ЗМАН; дослідник поширення гризунів в Україні за колекційними даними. Колектор 590 зразків ссавців у колекції ННПМ. Про дослідника: [NT14 pdf].
- Мигулін, Олексій (1893–1989) — один із найцитованіших дослідників теріофауни України, автор зведення «Звірі УРСР» (1938), виданого в період роботи в ЗМАН. Завдяки О.М. значна частина харківських колекцій перевезена до ЗМАН, у т.ч. 734 зразки, зібрані ним, та 1022 — іншими колегами. Про дослідника: [NT14 pdf].

<sup>7</sup> Це єдиний київський дослідник, який одночасно працював у тогочасному Сімферопольському музеї («Влітку 1917 р. М. Ю. Вагнер ... систематизував гербарій ... у Сімферопольському музеї Таврійського земства» [web]), давні колекції якого, зокрема й теріологічні, загадково опинилися в ННПМ [Zagorodniuk *et al.* 2015].



**Рис. 1.** Галерея дослідників-колекторів ссавців (відповідно до тексту — зліва направо і зверху вниз): В. Абеленцев, А. Аргиропуло, О. Браунер, Б. Більський, Ю. Вагнер, Л. Гіренко, С. Золотухіна, О. Корнеєв, В. Крижанівський, П. Крижов, О. Мигулін, С. Оболєнський, І. Підоплічко, Л. Писарєва, Б. Попов, Е. Решетник, О. Салганський, І. Сокур, О. Тягунов, М. Шарлемань.

**Fig. 1.** Gallery of mammal researchers-collectors (according to the text—from left to right and from top to bottom): V. Abelentsev, A. Argyropulo, A. Brauner, B. Bilsky, M. Wagner, L. Girenko, S. Zolotukhina, O. Korneev, V. Kryzhanivsky, P. Kryzhov, O. Mygulín, S. Obolensky, I. Pidoplichko, L. Pysarieva, B. Popov, E. Reshetnyk, O. Salgansky, I. Sokur, O. Tiagunov, and M. Sharleman.

- Оболенський, Сергій (1898–1948?) — один із учнів школи О. Лебедева (ЗМКП); активний дослідник мікротеріофауни, що працював на Слобожанщині, в Передкавказзі, на Далекому Сході. У ННПМ є його збори 1919–1922 рр. з Київщини, Харкова, Білгородщини, Вороніжчини. Автор низки нових таксонів. Про дослідника: [NT14 pdf].
- Підоплічко, Іван (1905–1975) — один із найпопулярніших колекторів рецентних і археологічних зразків, дослідник пелеток хижих птахів, керівник палеомузею, що нині у складі ННПМ. Провів глибокі ревізії видового складу теріофауни і рясноти окремих видів. Лауреат Держпремії за створення ННПМ. Про дослідника: [NT14 pdf].
- Писарева, Лідія (1922–1999) — багаторічний керівник ЗМКУ (1965–1993), учасниця багатьох експедицій музею по Київщині, в Карпатах, в Канівському заповіднику. Колектор сотень зразків за 1948–1973 рр. Один з авторів каталогу каталог теріологічних колекції ЗМКУ [Mukhalevych *et al.* 1993]. Про дослідницю: [NT15 pdf].
- Попов, Борис (1913–1942) — один з найпотужніших дослідників теріофауни, надто кажанів, колектор багатьох сотень зразків ссавців у ННПМ (297 у відділі зоології). Його неопублікована праця «кажани України» стала основою першого випуску серії «Фауна України» [Abelentsev *et al.* 1956]. Про дослідника: [NT14 pdf].
- Решетник, Євдокія (1903–1996) — дослідниця степових звірів, ключовий фахівець з біології, таксономії й мінливості ховрахів і сліпаків. Одна з провідних колекторів ЗМАН (407 зразків в ННПМ-z), зберігач фондів в часи окупації Києва 1941–1943 рр., автор низки таксонів, зокрема *Spalax arenarius*. Про дослідницю: [NT14 pdf].
- Салганський, Олексій (1919–2010) — один із творців сучасного (з 1952 р.) зоомузею Київського лісгосподарського інституту (= НУБіП), створеного наново після 2СВ. Колектор багатьох зразків у цьому музеї (168 опудал птахів і ссавців); тепер це Музей лісових звірів і птахів його імені. Про дослідника: [URL] [NT14 pdf].
- Сокур, Іван (1908–1994) — дослідник теріофауни Приазов'я і Закарпаття, провідний знавець теріофауни України та її змін, автор кількох монографій [Sokur 1960, 1961]. Перший повоєнний завідувач ЗМ при ІЗАН (нині ННПМ), колектор 1183 зразків у зоологічній частині колекції ННПМ (ННПМ-z). Про дослідника: [NT14 pdf].
- Тягунов, Олександр (1947–2010+?) — один із колекторів ІЗАН (збереглося 37 зразків дрібних ссавців 1964–65 рр.) та НУБіП, в останньому є 140 зразків [Shevchenko *et al.* 2015] (15 ссавців і 125 птахів 1960–71 рр.). Зібрав величезні серії (1759) харчових проб їжаків, які були в колекції О. Петрусенка. Про дослідника: [NT17, у роботі].
- Шарлемань, Микола (Едуард) (1893–1971) — провідний фауніст першої половини 20 ст., зберігач фондів зоологічних музеїв УНТ та АН (періоду ЗМАН, Зообін та ІЗР-РКУ). Засновник «Українського зоологічного журналу» (1921–1923). Колекціонер великої кількості зразків в ННПМ (у т.ч. 50 власних). Про дослідника: [NT14 pdf].
- Щербина, Микола (1880–1937; фото невідоме) — активіст УНТ, один із перших співробітників ЗМАН, дослідник фауни Полісся («Волині»). Відомі його колекційні зразки великих хижих (19 зразків) в ННПМ на основі зборів 1926–1934 рр. на Кавказі, Далекому Сході й Чукотці (вкл. черепи 6 ведмедів). Про дослідника: [NT16 doi].

### Динаміка у часі

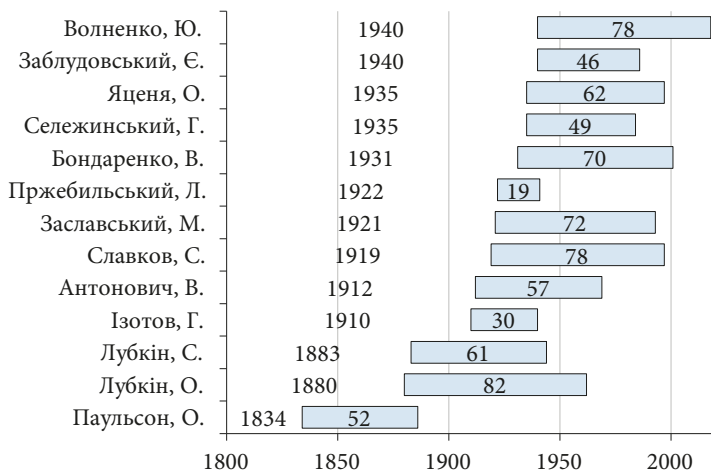
Загалом картина очікувана і надто яскрава, оскільки відбуває непрості тенденції розвитку цієї галузі. Вона має не випадковий S-подібний характер розподілу: малу кількість давніших дослідників, великий приплив дослідників у середній період і суттєве скорочення — в останній період (рис. 2–3). Звертає на себе увагу і те, що у період великого припливу людей так само короткими були їхні життя — період сталінізму і Другої світової війни забрали чимало життів яскравих дослідників. Саме через це крива, доволі рівна у своїй лівій частині, є вкрай ломаною у правій частині через дуже різну тривалість життя і творчості дослідників, надто у народжених у 1900–1920 роках.



**Рис. 2.** Розподіл у часі та тривалість життя зоологів, причетних до формування теріологічних колекцій, з групи «дослідники-колектори і музеологи».

**Fig. 2.** Time distribution and the age of zoologists involved in the formation of mammalogical collections from the group 'researchers-collectors and museologists'.

[Виокремити періоди музейної роботи дослідників складно, а в низці випадків і неможливо, оскільки діяльність на розвиток музеїв на завжди була пов'язана з періодами фактичної музейної афіліації зоологів. Власне тому тут показано повні життєві періоди. У загальному випадку можна прийняти, що музейна активність була від віку 20+ до кінця життя.]



**Рис. 3.** Розподіл у часі та тривалість життя зоологів, причетних до формування теріологічних колекцій, з групи «колектори-тасидермісти».

**Fig. 3.** Time distribution and the age of zoologists involved in the formation of mammalogical collections from the group 'collectors and taxidermists'.

Це дані до базового списку, тобто колег, які працювали в самих музеях або у підрозділах, пов'язаних із музеями і з колекціонуванням зразків. Додавання до цього пуду даних про інших колекторів, які внесли визначний внесок до створення музеїв і розвитку їхніх фондів колекцій, картину не змінить.

### **Дослідники, частково афілійовані з музеями**

Тут мова про дослідників, які внесли помітну частку своїх матеріалів у розвиток зоологічних колекцій, проте були не співробітниками музеїв, але інституційно пов'язані з ними — співробітники суміжних відділів або установ, аспіранти, колишні співробітники, що зберегли тісні зв'язки з музеями. Так їх віднесено до групи «частково афілійованих». У статистику (табл. 1) або аналіз динаміки (рис. 2–3) їх не внесено.

Попри поширені практики «некомпенсованого» користування колекціями, характерної для всіх поколінь зоологів, які самі не докладали зусиль (або докладали мінімальних зусиль) до збору і музеєфікації матеріалу, проте успішно на цьому робили кар'єри, існує значний пул дослідників, що завжди надавали належне колекціям. Досліджуючи зібрані матеріали, вони при кожній нагоді зібраний матеріал зберігали, завдяки чому ми тепер і маємо значну частину фондів, а в низці випадків і унікальних експозиційних зразків.

Це особливий тип дослідників, в багатьох розуміннях найцінніша частина дослідницького соціуму, оскільки вже зібрані матеріали можуть бути повторно вивчені, вивчені з іншою метою, реідентифіковані, а в низці випадків такі збори є просто неповторними — або види вже там зникли, або здобувати такі зразки тепер неможливо через охоронні статуси або через віддаленість ареалів. Це все співробітники не самих музеїв, проте установ, при яких були створені й діяли (діють) музеї. З таких співробітників відзначу 12 імен:

- Агарков, Георгій (1922–1988) [NT14 pdf], • Кондратенко, Олександр (1975–2004) [NT14 pdf], • Межжерін, Віталій (1933–2018) [NT14 pdf], • Мошков, Євген (1953–1988) [NT16 doi], • Панов, Герман (1934–2021) [NT14 pdf], • Поліщук, Ігор (1952–2024) [NT15 pdf], • Прожига, Борис (1895–1939) [NT16 doi], • Рейтблат, Астра (1923–2002) [NT17 press], • Тесленко, Сергій (1959–2000) [NT14 pdf], • Самош, Василь (1925–1981) [NT14 pdf], • Свириденко, Павло (1893–1971) [NT14 pdf], • Цвелих, Олександр (1954–2022) [NT14 pdf].

І такий список буде продовжений, оскільки час невпинно працює над ним, відправляючи в минуле все нових колег, які поки дієві, хоча деякі вже й на пенсії.

Серед останніх (вікова група «60+»):

- Архипчук, Віктор [NT16 doi]; • Ємельянов, Ігор [NT15 pdf], • Загороднюк, Ігор [NT15 pdf]; • Зиков, Олександр [NT15 pdf], • Котляров, Олег [NT15 pdf]; • Рогатко, Інеса [NT15 pdf]; • Розора, Жанна [NT16 doi]; Філіпчук, Неоніла [NT15 pdf]; • Ходикіна, Зоя [NT15 pdf]; • Шевченко, Людмила [NT15 pdf]. При цьому відомостей про деяких з них немає в останні роки (зокрема, З. Ходикіна).

### ***Колектори й таксидермісти***

У цій частині реєстру — 13 імен дослідників, які працювали в музеях Києва на ролях колекторів, таксидермістів (часто як художники-таксидермісти), а також препараторів і консерваторів. Працею цих людей з'являлися нові матеріали і нові експонати музеїв, а нерідко й саме вони брали найактивнішу участь у проектуванні експозицій — окремих сегментів, діорам, в цілому зал. Їхньою щоденною працею формувалися й наповнювалися й фондові колекції, включно з препаруванням остеологічних матеріалів.

- Антонович, Віктор (1912–1969) — один із ключових київських колекторів і таксидермістів, що працював в ЗМКУ та ЗМАН (згодом при ІЗАН). Неодноразово брав участь в дальніх експедиціях, у т.ч. до Карпат і Криму, працював в парі з багатьма відомими дослідниками (Б. Попов, В. Бондаренко та ін.). Про дослідника: [NT15 pdf].
- Бондаренко, Валеріан (1931–2001) — найунікальніший колектор і таксидерміст в історії української музеології: після переходу з ЗМКУ до ІЗАН від став учасником наукових «нарколоосвіток» і членом китобійної флотилії (30 походів), звідки привозив опудала і скелети, що прикрашають більшість музеїв. Про дослідника: [NT15 pdf].
- Волненко, Юрій (1940–2018) — один із найбільш творчих дослідників з усіма розглянутими тут статусами (дослідник, музейник, колектор, таксидерміст), один з авторів експозицій і колектор фондів ЗМКУ, ННПМ, ІГБ, медуніверситету. Учасник багатьох експедицій по Україні, Азії, Далекому Сходу. Про дослідника: [NT17, у роботі].
- Заблудовський, Євген (1940–1986) — досвідчений художник-таксидерміст, що працював з ЗМАН над оформленням нової експозиції ЦНПМ, згодом у приватних майстернях. Брав

участь у створенні багатьох діорам ЦНПМ. Учасник експедицій на Камчатку, Сахалін, крайню Північ, країни Центральної Азії. Про дослідника: [NT16 doi].

- Заславський, Михайло (1921–1993) — провідний таксидерміст радянської доби, який при основному місці роботи в ЗІН (СПб, з 1945 р.) у 1970–1973 рр. — таксидерміст зоомузею ІЗАН. Майстер скульптурної таксидермії<sup>8</sup>, вчитель багатьох київських таксидермістів. Автор кількох десятків опудал в ННПМ. Про дослідника: [web1 web2].
- Изотов, Георгій (1910?–1940?; фото невідоме) — дослідник зі штату довоєнного ЗМАН, один із найпримітніших дослідників і колекторів пелеткових матеріалів (мова про тисячі пелеток). Відзначився й зборами кажанів. Працював в експедиціях на Київщині й суміжних областях України, в Грузії, Туркменістані<sup>9</sup>. Про дослідника: [NT15 pdf].
- Лубкін, Олексій (1880–1962) — один з творців довоєнного ЗМКУ, автор численних опудал і загалом експозиції. Брав участь у експедиціях на Біле море, по Дніпру, до Криму, дельти Волги. У час закриття КДУ (1921–1936) працював в ЗМАН. Автор більшості експонатів у відновленому після пожежі ЗМКУ. Про дослідника: [NT15 pdf].
- Лубкін, Семен (1883–1944) — один з ключових препаративців ЗМАН від початку його створення до Другої Світової війни (є згадки як співробітника ЗМ 1929 і 1935 рр.). Брав участь у багатьох експедиціях (напр. 1935 р. до Маріуполя). У 1937 р. був на посаді «консерв. технік»; з поч. 1940 р. у ЗМКУ. Про дослідника: [NT15 pdf].
- Сележинський, Геннадій (1935–1984) — один із найпримітніших таксидермістів Києва II пол. ХХ ст. (ЗМАН+ЗМКУ). Протягом 1960–1970 рр. зібрав близько 300 зразків 36 видів ссавців з різних регіонів України, Центральної Азії, Далекого Сходу. Автор багатьох таксидермічних творів у ЗМКУ та ННПМ. Про дослідника: [NT16 doi].
- Славков, Сергій (1919–1997) — провідний таксидерміст зоомузею повоєнного НУБіП (тоді УСГА), автор більшості опудал птахів і ссавців, менше — колектор птахів (9 опудал, 1 тушка) і ссавців (2 опудала, 1 тушка). Працював у тандемі з О. Салганським, який вміло домовлявся про матеріал. Про дослідника: [NT17, у роботі].
- Паульсон, Отто (1834–1886) — музеолог Київського університету (ун-ту св. Володимира), що від початку роботи в університеті (1865) опікувався Зоологічним кабінетом, з 1869 р. — організатор загальнопрístupної для відвідувачів експозиції кабінету [Samoilenko 2016], упорядник каталогу цього кабінету [Paulson 1884]<sup>10</sup>.
- Пржебильський, Леонід (1922?–1941; фото невідоме) — один з найактивніших дослідників довоєнного ЗМАН, учасник спільних з Б. Поповим досліджень кажанів. У фондах ННПМ (зоол. + палеонт.) відомо 166 зразків дрібних ссавців (гризуни, кажани, землерийки), всі з Київщини за 1936–1941 рр. Про дослідника: [NT15 pdf].
- Яценя, Олег (1935–1997) — широкий натураліст, який цікавився різними групами хребетних, теріологічні зібрання стосуються різних груп мікромамалій. Працював у ЗМКУ та ІЗАН, збирав матеріали на Київщині, Черкащині, Одещині, в Криму, в Азербайджані (Ленкорань), Туркменістані (Кушка та ін.). Про дослідника: [NT16 doi].

Серед зовнішніх колекторів зі значним внеском у розвиток колекцій київських зоологічних музеїв варто відзначити такі імена (за абеткою):

- Вальх, Борис (1876–1942) [NT14 pdf], • Великанів, Всеволод (1898–1938) [NT14 pdf],
- Городецький, Владислав (1863–1930) [web], • Горонович, Микола (1849–1919) [NT16 doi],
- Дюков, Микола (1896–1936+?) [NT16 doi], • Милинський, Сергій (1916–1979) [NT16 doi],

<sup>8</sup> Автор п'яти монографій 1964–1986 рр., у т.ч. «Скульптурна таксидермія» [Zaslavsky 1971].

<sup>9</sup> Юрій (Георгій) Изотов починав як успішний дослідник, що мав і декілька наукових статей щодо живлення сов і цінних фауністичних знахідок дрібних ссавців, проте з роками став «чистим» колектором, який збирав матеріал за гроші (зокрема у туркменський період).

<sup>10</sup> За вузьким фахом колега — карцинолог, проте його внесок у опис теріологічних колекцій очевидний, тим паче він — автор першого подібного каталогу (цього 2024 р. — 190-річчя від дня народження колеги).

- Модін, Георгій (1918–1967+?) [NT14 pdf], • Наглов, Володимир (1930–2009) [NT14 pdf],
  - Полушина, Надія (1927–2010) [NT14 pdf], • Пржебильський, Леонід (1922–1941) [NT15 pdf]; • Селезньов, Микола (1901–1943+?) [NT14 pdf]), Шиллінгер, Франц (1874–1943)<sup>11</sup>.
- І цей список може бути продовжений і навіть суттєво розширений з огляду на загальні обсяги колекцій.

## Про подальше

Темпи приросту фондів колекцій і поновлення експозицій природничих музеїв катастрофічно знизилися. Причин цього чимало, проте головними можна вважати такі:

1) насичення фондів і експозицій і небажання музейників змінювати їх, 2) занепад таксидермічних лабораторій в усіх державних інституціях (при мінімальних зарплатах попри надзвичайний попит при приватних практиках), 3) припинення великих експедицій зі здобування матеріалу, 4) поява альтернативних форм музейної діяльності (інтерактиви, майстер-класи, лекторії, квести, штучні моделі, 3D-візуалізації), 5) зміна соціальних реакцій щодо опудал вбитих чи загинув тварин, 6) звуження дозволених законами дозволів на здобування і препарування зразків, 7) занепад і втрата музейних в цілому і зокрема таксидермічних шкіл і соціумів.

Всі ці процеси ведуть до катастрофічного зменшення будь-якої активності природничих музеїв у розвитку фондів та експозицій, у перепрофілюванні музеїв університетів у навчальні лабораторії, у значному скороченні нових надходжень. Аналіз темпів наповнення теріологічних колекцій ННПМ [Zagorodniuk 2021a] показав їх катастрофічний спад — до 100–200 надходжень на десятиліття в останній період (по суті у XXI ст.) проти 1–2 тис. на десятиліття протягом XX ст. Певною мірою це пов'язано і зі змінами дослідницьких пріоритетів та зменшенням уваги до морфологічного матеріалу (проти посилення уваги до інших типів даних — дистанційних реєстрацій чи замірів, прижиттєвих або й посмертних генетичних проб тощо).

До цього важливо додати вкрай неоднозначний статус природничих колекцій у зв'язку з явно не природознавчим тлумаченням основних і допоміжних фондів, оскільки зразки з основних фондів не можна препарувати чи якось інакше змінювати (а у зоологів все навпаки), і експозиції в природничих музеях часто — не найцінніша з наукової точки зору частина колекції, часто взагалі не етикетована належним чином; натомість кістки, тушки і навіть уламки, не маючи жодних експозиційних цінностей, можуть становити значну наукову цінність. Також проблемним є самі практики таксидермії та їх документальний (дозвільний) супровід — від здобування чи отримання іншими шляхами зразків до дозволів епідеміологічних служб та проблем з утилізацією відходів.

Отже, всі активні процеси у великому часі ведуть до занепаду всіх чотирьох «традиційних» напрямків, згаданих вище, послідовно у наведеному тут порядку: колекторства, таксидермії, музеології, дослідництва. Дослідники ще виживають, але часто на зібраних іншими матеріалах, музеологи після чергових переобліків і каталогізацій, фактично лише підтримують створене до них, таксидермісти давно без постійної роботи і притоку матеріалу, а колекторів суспільство починає все частіше позначати ворогами дикої природи. Занепад зооцирків, зоопарків і зоомузіїв — послідовні фази розвитку сучасного суспільства, яке цілком задовольняється віртуальними екскурсіями і відеоматеріалами.

Проте є й позитивні процеси, про що важливо сказати.

Врешті, відбулася еволюція понять щодо об'єктів експонування і вимог до їхньої якості. Колись популярне «опудало», яке виготовляли задля наочної демонстрації об'єктів полювання чи шкідників народного добра, для демонстрації різноманіття об'єктів природи навіть

<sup>11</sup> Зв'язки з музеями Києва неясні; можливо, матеріали у нього закуплялися, а не робилися в/для музеїв Києва; автор таксидермічних картин, 9 опудал є в НУБіП (С. Шевченко, перс. повід.).

ціною знуцання над їхніми образами, змінилося на таксидермічну скульптуру. Останнє поняття, що наближене по своїй суті до мистецтва, увійшло в Україні в науковий обіг тільки у 1960–1980-х роках [Zaslavsky 1971, 1986] стало маркером парадигмальних змін. Як зазначає П. Печенюк [Pecheniuk 2024, особ. повід.], суть такого переходу полягала у зміні засад пізнавально-просвітницького боку на засади художньої майстерності, коли об'єкт експонування захоплює, а не лише демонструє. Такі твори наші музейники все частіше називають не «опудалами» [Pakhomov & Kulbachko 2006], а саме «таксидермічними скульптурами» [Veselskyi 2020].

Другий процес — зміна, а по суті втрата професійного колекторства. Звісно, з «чорних ринків» таке не зникне, проте різноманіття джерел отримання цінних зразків таксидермічними лабораторіями з роками тільки росте, що пов'язане і з розвитком зооринків, і зростанням частоти загибелі тварин в різноманітних пастках і на автошляхах, і роботою служб з порятунку тварин, і розвитком системи звіринців, де тварини не тільки живуть, але й помирають. Давне і доволі поетичне на часи столітньої давнини поняття «колектор», або «добувач», людина з тенетами або рушницею, яка вміло знаходила і виманювали бажану здобич, на сьогодні асоціюється з негативним у суспільстві «вишибалом» з системи фінансових закладів, в гіршому випадку — частиною каналізаційної системи<sup>12</sup>. Поняття колектор-зоолог чи бібколектор виходять зі вжитку. Але нові покоління музейників не менш часто проходять «личинкову фазу» колекторів, колекціонерів.

Третій процес — зміна концепції експозицій — від простих путівників по класифікаційним схемам тваринного світу у стилі прогулянок по виставці товарів для вжитку до тематичних розділів і екологічних експозицій. Окремі елементи є і в давніх музеях України — біогрупи (яких особливо багато в Музеї природи Харківського університету) та окремі композиції з динамічних фігур вищого рівня художнього оформлення (як в Зоологічному музеї Київського університету) до великих тематичних діорам (як в ННПМ). Проте задачами нового тисячоліття стають ідеї «динамічного музею», з частою зміною експозицій і їх художнім переосмисленням, з динамікою змін окремих блоків відповідно до визначних та суспільно значимих подій як от 200 років відкриття Антарктиди, рік Кита, Тигр — символ року тощо [Zagorodniuk *et al.* 2021]. В Державному природознавчому музеї НАН України як ознака сучасності зреалізовано проект «Динамічний музей» [Bokotey *et al.* 2014; Dziubenko 2019] розвинулися нові експозиції — «Льодовикова епоха» (з 2019 р.) та «Експедиція до Антарктиди» (офіційно з 2025).

У підсумку — музеї як колекції морфологічного матеріалу та як експозиції у їх традиційному розумінні і сприйнятті — і науковцями, і відвідувачами — відходять в минуле, попри всі заходи зі збереження і примноження традиційних форм наповнення фондів та оформлення експозицій. Так само в минуло відходять практики колекторства і таксидермії, спрямовані на розвиток по суті минулих задач, натомість еволюція музеїв триває, зокрема й в рамках парадигми коеволюції музеїв і суспільства [Klymyshyn 2005; Chernobay 2009; Barkaszi *et al.* 2021]. Нові форми діяльності музеїв вже сформовані, вони успішно розвиваються, і ми маємо нову хвилю відродження природничих музеїв в системі ключових атракцій всіх наукових, культурних і освітніх центрів [Evstafiev 2024].

Проте це все про експозицію і взаємодії з відвідувачами. А за лаштунками — величезний пласт фондів колекцій як носіїв і джерел нових природничих знань. І аналіз цінності фондів колекцій і нових надходжень при обмежених можливостях музеїв щодо музеєфікації зразків, розміщення та обслуговування колекцій, а також (і передусім) нових тенденцій і підходів у вивченні таких матеріалів — задача не просто розвитку, а виживання музеїв як наукових установ. І перспективи цього дуже незначні, а тому ця тема вимагає особливої уваги як самих музейників, так і користувачів фондами.

<sup>12</sup> При підготовці нарисів про музейників минулого і сучасного (бюлетень *Novitates Theriologicae* 2022–2023 років [Zagorodniuk 2022b–c, 2023a]) автор отримував від героїв нарисів не одну претензію щодо вжитку поняття «колектор», що просили змінити на якесь інше слово (музейник, музеолог, зоолог, дослідник); те саме зауважив і один із рецензентів рукопису цієї статті.

## Подяки

Моя подяка колегам, які незмінно і всебічно сприяли і сприяють розвитку досліджень автора з історії теріологічних колекцій та розвитку досліджень у природничих музеях, насамперед Н. Дзюбенко, Е. Король, Л. Прокопчук, О. Протасову, Ж. Розорі, Ю. Семенову, Є. Улюрі, Л. Шевченко, С. Шевченку. Дякую І. Мерзлікіну, Ю. Олійнику та І. Шидловському за важливі зауваження і коментарі.

## Декларації

Фінансування. Дослідження проведено в рамках планової наукової теми ННПМ НАН України з номером держреєстрації № 0124U000572 (розділ «3. Використання природничих колекцій для проведення наукової, освітньої та просвітницької роботи»).

Конфлікт інтересів. Автор не має жодних конфліктів інтересів, які могли вплинути на зміст статті.

## References

- Abelentsev, V. I., I. G. Pidoplichko, B. M. Popov. 1956. *General Characteristics of Mammals. Insectivores, Bats*. Acad. Sci. Ukr. RSR Press, Kyiv, 1–448. (Series: Fauna of Ukraine; Vol. 1: Mammals, Is. 1). [Ukrainian] <http://terioshkola.org.ua/library/classic/abelentsev-etc-1956.htm>
- Abelentsev, V. I. 1968. *The Mustelids*. Naukova Dumka Press, Kyiv, 1–280. (Series: Fauna of Ukraine; Vol. 1: Mammals, Is. 3). [Ukrainian] <http://terioshkola.org.ua/library/classic/abelentsev-1968.pdf>
- Akimov, I. A., V. A. Kharchenko, A. V. Puchkov, M. D. Zerova, L. Kolodochka, [et al.]. 2016. Scientific Fund Collections of I. I. Schmalhausen Institute of Zoology, NAS of Ukraine. *Proceedings of the National Museum of Natural History*, **14**: 95–108. [Ukrainian] <https://doi.org/10.15407/vnm.2016.14.095>
- Barkaszi, Z., O. Kovalchuk, A. Maliuk. 2021. Interpretation of evolution as part of science popularization in natural history museums. *Geo&Bio*, **21**: 13–24. [Ukrainian] <http://dx.doi.org/10.15407/gb2104>
- Biliashivsky, M. M., Z. V. Rozora. 2004. Zoological Museum. In: *Essays on the History of the Faculty of Biology*. Phytosociocentr, Kyiv, 250–269. [Ukrainian]
- Biliashivskiy, M. M. 2012. Zoological Museum of National Kyiv's Taras Shevchenko University as a cultural phenomenon of Ukraine. In: *University Museums: European Experience and Ukrainian Practice*. Nizhyn, 39–52. [Ukrainian]
- Bokotey, A., N. Dzyubenko, O. Klymyshyn, N. Cheremnyh. 2014. New forms of natural history museum exhibition activities. *Proceedings of the State Natural History Museum*, **30**: 59–68. [Ukrainian] <https://www.academia.edu/41521535>
- Chernobay, Y. 2009. Evolutionary theory in the modern natural history museum. In: *Natural History Museology (Proceedings of ICOM-Ukraine Conference)*. Lviv, Kamianets-Podilskyi, 33–41. [Ukrainian]
- Chervonenko, O., D. Kepin. 2022. Natural history museology: establishment and formation of its theoretical bases. *History of Science and Technology*, **12** (1): 11–30. <https://doi.org/10.32703/2415-7422-2022-12-1-11-30>
- Dziubenko, N. V. 2019. Museum of Natural History: from the theory of the evolution of life to the practice of a living museum. *Proceedings of the State Natural History Museum*, **35**: 177–178. [Ukrainian] <http://jnas.nbu.gov.ua/article/UJRN-0001056682>
- Evstafiev, I. 2024. Zoological exhibitions in natural history museums: classic design and modern approach. *Therologia Ukrainica*, **28**: 201–226. [Ukrainian] <http://doi.org/10.53452/TU2817>
- Karavaev, V. 1926. A brief essay on the development and modern state of the Zoological Museum of U.A.N. *Travaux de Musée Zoologique*, **1**: 21–30. (Series: Proceedings of the Physical-Mathematical Division, U.S.A.N., Vol. 4, is. 2). [Ukrainian]
- Kawahara, A. Y., R. M. Pyle. 2012. Through collecting, owning and observing insects. In: Lemelin R. H. (ed.) *The Management of Insects in Recreation and Tourism*. Cambridge Univ. Press, New York, 138–152.
- Klymyshyn, O. S. 2005. Content and objectives of communication activities of natural history museums. *Proceedings of the State Natural History Museum*, **21**: 5–10. [Ukrainian] [https://nzdpm.smnh.org/tom/21/klymyshyn\\_t21.pdf](https://nzdpm.smnh.org/tom/21/klymyshyn_t21.pdf)
- Klymyshyn, O. S., I. V. Shydlovskiy. 2014. Museums of nature history of formation. *Proceedings of the State Natural History Museum*, **30**: 23–30. [Ukrainian] <http://jnas.nbu.gov.ua/article/UJRN-0000380601>
- Klymyshyn, O. S. 2017. *Fundamentals of Natural Museology*. NAS of Ukraine, State Museum of Natural History, Lviv, 1–177. [Ukrainian]
- Klymyshyn, O. S., I. V. Shydlovskiy. 2017. *Natural Museology: A Textbook*. Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, 1–208. ISBN 978-617-10-0298-2. [Ukrainian] URL (pdf)
- Korobchenko, M. 2016. Evdokia Reshetnyk (1903–1996) — an outstanding figure in the history of academic zoology and ecology in Ukraine. *Proceedings of the National Museum of Natural History*, **14**: 136–146. [Ukrainian] <https://doi.org/10.15407/vnm.2016.14.136>
- Lebedev, A. G. 1924. Zoological laboratory for 25 years of existence. In: *Kyiv Polytechnic and Kyiv Agricultural Institutes of the XXV century: 1898–1923: a jubilee collection*. State Trust 'Kyiv-Druk', Kyiv, 234–238. URL (pdf)

- Lobkov, V. A. (ed.). 1997. *In Memory of Professor Alexander Aleksandrovich Brauner (1857–1941): Collection of memoirs and scientific papers*. A. A. Brauner Museum Fund, Astroprint, Odessa, 1–211. ISBN 9665490613. [Russian]
- Mykhalevych, O. A., A. M. Pisareva, Z. V. Rozora. 1993. *Catalogue of Collections of the Zoological Museum of the Kyiv University. 1. Mammals*. Institute of Zoology, AS of Ukr., Preprint № 93.7: 1–36. [Ukrainian]
- Novosad, K., O. Scherbakova, V. Novosad, O. Starostenko. 2019. Museum expositions and funds as a visual basis for innovative methods of teaching biomedical disciplines. In: Zagorodniuk, I. (ed.). *Natural History Museology. Volume 5*. NMNH NAS of Ukraine, Kyiv, 245–246. [Ukrainian] URL
- Onyshchenko, O. S. (ed.). 2003a. *History of the National Academy of Sciences of Ukraine (1934–1937): Documents and materials*. Vernadsky Natl. Library, Kyiv, 1–831. [Ukrainian]
- Onyshchenko, O. S. (ed.). 2003b. *History of the National Academy of Sciences of Ukraine (1938–1941): Documents and materials*. Vernadsky Natl. Library, Kyiv, 1–920. [Ukrainian]
- Pakhomov O. E., Y. L. Kulbachko. 2006. *Preparation of Zoological Visual Aids and Scientific Collections*. Dnipro University Publishing House, Dnipropetrovsk, 1–318. [Ukrainian] URL (pdf)
- Paulson, O. M. 1884. Zoological office. Comparative anatomical office. In: Ikonnikov, V. S. (ed.). *Historical and Statistical Notes about Scientists and Educational Support Institutions of the Imperial University of St. Vladimir (1834–1884)*. Imp. Univ. St. Vladimir, Kyiv, 110–122 + 123–127. [Russian]
- Pidoplichko, I. G. 1968. Researcher of the fauna of Ukraine A. A. Migulin. *Vestnik Zoologii*, No. 6: 84–86. [Russian]
- Pecheniuk, P. 2024. Influence of traditional and modern technologies for creating zoological exhibits on their ability to be stored and resist biological damage. In: Britska, O. M. (ed.). *Nature and Man: Ways of Possible Harmony*. Materials of the All-Ukrainian Conference, Khmelnytskyi Regional Museum of Local Lore, Khmelnytskyi, 89–94. [In Ukrainian]
- Pohrebniak, S., E. Pysanets, V. Manilo. 2010. M. M. Shcherbak Zoological Museum: past and present. *Svitogliad*, No. 4: 36–45. [Ukrainian] URL (pdf)
- Radievska, T. N., S. A. Sorokina, O. N. Zavalna. 2016. Travelling of the Archaeological Collections of the National Museum of History of Ukraine in 1930th. *Proceedings of the Centre for Monument Studies*, 29: 183–200. [Ukrainian]
- Radievska, T., T. Sebta, S. Sorokina. 2018. On the history of the collections of the national museum of Ukrainian history: displacement to the west and restitution in 1943–1948. *Scientific Bulletin of the National Museum of the History of Ukraine. Issue 3*. Kyiv, 15–52. [Ukrainian] <https://www.academia.edu/37924518>
- Radzivil, O., V. Grytsenko. 2023. Peculiarities of the socialising role of natural history museums under conditions of transformation of the Ukrainian society. *Geo&Bio*, 24: 46–63. [Ukrainian] <https://doi.org/10.53452/gb2405>
- Roe, A. 1951. A psychological study of eminent biologists. *Psychological Monographs: General and Applied*, 65 (14): 1–68. <https://doi.org/10.1037/h0093639>
- Rozora, Z. V., M. M. Bilyashivsky, O. V. Bidzilya, [et al.]. 2014. *Zoological Museum of Taras Shevchenko University of Kyiv*. Kyiv University Publishing and Printing Center, Kyiv, 1–160. [Russian]
- Samoilenko, L. 2016. Education in museum and museum education in the history of the University of Kyiv. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. History*, No. 4 (131): 53–62. [Ukrainian] <https://doi.org/10.17721/1728-2640.2016.131.4.13>
- Sharlema, M. 1932. Some tasks of the Zoological Museum of the Zoo-biological Institute at the VUAN in the era of reconstruction. *Journal of the Bio-Zoological Cycle*, 1/2: 100–104. [Ukrainian]
- Sharleman, M. 1935. 15 years of work of the Zoological Museum of the Ukrainian Academy of Sciences *Visti Akademii nauk Ukrainської Sotsialistichnoi Respubliki*, No. 1: 21–38. [Ukrainian]
- Shevchenko, L. S., S. I. Zolotukhina. 2002. *Mammals. Issue 1. Murids – Muridae*. Zool. Mus., NMNH of Ukraine. Kyiv, 1–217. [Russian]
- Shevchenko, L. S., S. I. Zolotukhina. 2005. *Mammals. Issue 2. Insectivores, Bats, Lagomorphs*. Zool. Mus. of the National Museum of Natural History of Ukraine. Kyiv, 1–228. [Russian]
- Shevchenko, L. S. 2015. Information about the fund zoological collections in the National Museum of Natural History NAS Ukraine. In: *Natural History Museums: The Role in Education and Science*. NMNH NAS of Ukraine, Kyiv, 72–73 [Russian]
- Shevchenko, S. M., V. M. Tyshchenko, I. V. Davydenko. 2015. The fund collection of the Museum of forest mammals and birds named after Professor O. O. Salhansky (Kyiv). *Proceedings of the National Museum of Natural History*, 13: 111–118. [Ukrainian] <https://bit.ly/3ohBgWW>
- Sokur, I. T. 1960. *Mammals of the Fauna of Ukraine and Their Economic Importance*. Derzhuchpedvydav, Kyiv, 1–211. [Ukrainian] <http://terioshkola.org.ua/library/classic/sokur-1960-mammals-of-ukraine.djvu>
- Sokur, I. T. 1961. *Historical Changes and Use of Mammal Fauna of Ukraine*. Published by the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, Kyiv, 1–84. [Ukrainian] <http://terioshkola.org.ua/library/classic/sokur-1961.pdf>
- Veselskyi, M. F. 2020. On the history of the formation of the theriological collection of the Zhytomyr Regional Museum of Local Lore. In: Skavronskyi, P. S. (ed.). *Museum Business in Zhytomyr Region: History and Modernity*. FOP Melnyk M. V., Berdychiv, 33–42. (Series: Velyka Volyn; Issue 60).
- Weidacher, F. 2005. *General Museology. Translation from the German*. Litopys, Lviv, 1–632. ISBN 966-7007-41-3 [Ukrainian]

- Zagorodniuk, I. 2014. Theriological Research by Leonid Hirenko. *Proceedings of the Theriological School*, **12**: 114–126. [Ukrainian] <http://doi.org/10.15407/ptt2014.12.114>
- Zagorodniuk, I. 2015. Stages of formation and dating the earliest history of the National Museum of Natural History of Ukraine. *Natural History Museums: The Role in Education and Science. Pt 2.* (Proceedings of the IV Internat. Sci. Conf.). NMNH NAS of Ukraine; Ed. by I. Zagorodniuk. Kyiv, 161–163. ISBN 978-966-02-7728-1. [Ukrainian] <https://www.researchgate.net/publication/283420354>
- Zagorodniuk, I., M. Korobchenko, M. Pidhainy. 2015. The oldest collected samples of *Ellobius talpinus* s. l. (Rodentia) in natural history museums of Ukraine: an investigation into the history of collections. *Proceedings of the National Museum of Natural History*, **13**: 101–110. [Ukrainian] <https://bit.ly/3km0jZp>
- Zagorodniuk, I. 2016. Natural history collections in the Kyiv Pedagogical Museum in 1902–1917. *Proceedings of the National Museum of Natural History*, **14**: 123–135. [Ukrainian] <https://doi.org/10.15407/vnm.2016.14.123>
- Zagorodniuk, I. 2017. Vasyl Abelentsev (1913–1980): life in the world of science. *Proceedings of the Theriological School*, **15**: 167–174. [Ukrainian] <http://doi.org/10.15407/ptt2017.15.167>
- Zagorodniuk, I., K. Ocheretna. 2019. The Zoological Museum of the Ukrainian Academy of Sciences for 100 years: statuses, subordinations, and leaders. *Natural History Museology. Volume 5.* NMNH NAS of Ukraine, Kyiv, 45–52. [Ukrainian] <https://www.researchgate.net/publication/336278780>
- Zagorodniuk, I. 2021a. Ground squirrels of the war: a history of zoological research and Spermophilus collections in the Reichskommissariat Ukraine. *Proceedings of the State Natural History Museum (Lviv)*, **37**: 17–38. [Ukrainian] <https://doi.org/10.36885/nzdpm.2021.37.17-38>
- Zagorodniuk, I. 2021b. Theodosius Dobrzhansky's scientific work in Kyiv: key milestones and colleagues (a story of one photograph). In: Zagorodniuk, I. (ed.). *Species in Biology: Theory and Practice.* Ukr. Theriol. Soc. & Natl. Mus. Nat. Hist., NAS of Ukraine, Kyiv, 380–395. (Series: Novitates Theriologicae; Pars 12) <http://doi.org/10.53452/nt1262>
- Zagorodniuk, I., K. Ocheretna, S. Kharchuk, M. Korobchenko. 2021. Symbol species, days and years of animals in natural history events and museum activities. *Geo&Bio*, **20**: 135–159. <https://doi.org/10.15407/gb2013>
- Zagorodniuk, I. 2022a. Zoological museums and mammal collections in Kyiv for the last two centuries: history, values, and prospects. *Geo&Bio*, **22**: 37–62. [Ukrainian] <http://doi.org/10.15407/gb2205>
- Zagorodniuk, I. (ed.). 2022b. *Theriology in Ukraine. Part 1: 100 Outstanding Researchers of the Past.* Ukrainian Theriological Society & NMNH NAS of Ukraine, Kyiv, 1–368. (Series: Novitates Theriologicae; Pars 14). [Ukrainian] <http://doi.org/10.53452/nt14>
- Zagorodniuk, I. (ed.). 2022c. *Theriology in Ukraine. Part 2. Directory of Modern Theriologists.* Ukrainian Theriological Society & NMNH NAS of Ukraine, Kyiv, 1–292. (Series: Novitates Theriologicae; Pars 15). [Ukrainian] <http://doi.org/10.53452/nt15>
- Zagorodniuk, I. (ed.). 2023a. *Theriology in wartime: collection of articles.* Ukrainian Theriological Society & National Museum of Natural History, NAS of Ukraine, Kyiv, 1–276. (Series: Novitates Theriologicae; Pars 16). [Ukrainian] <http://doi.org/10.53452/nt16>
- Zagorodniuk, I. 2023b. A hedgehog from Luxembourg: the story of a specimen as evidence of migrations of museum collections between Kharkiv and Kyiv in the 1930s. *The Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Biology*, **40**: 4–18. [Ukrainian] <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2023-40-1>
- Zaslavsky, M. 1971. *A New Method of Making Stuffed Animals. Sculptural Taxidermy.* Nauka, Leningrad, 1–204. [Russian]
- Zaslavsky, M. A. 1986. *Environmental Exhibition at the Museum: A Manual for Museum Workers on Designing Museum Biological Compositions.* Nauka, Leningrad, 1–320. [Russian] URL (pdf)
- Zinenko, O. 2015. The need for DNA databanks at zoological collection facilities. In: *Natural History Museums: The Role in Education and Science. Part 2.* NMNH NAS of Ukraine, Kyiv, 26–26. [Russian] URL (pdf)