НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ • НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВО-ПРИРОДНИЧИЙ МУЗЕЙ
NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE • NATIONAL MUSEUM OF NATURAL HISTORY

GEO&BIO

ТОМ VOL. 24 2023

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

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

Зміст

музеологія

Баршtейн, В., Я. Блюм. Сторінки історії Національного музею природознавства (Париж) в медальєрному мистецтві **3**

Загороднюк, І. Микола Дюков як зоолог та колектор, дослідник фауни Слобожанщини і Дагестану **25**

Радзівілл, О., В. Гриценко. Особливості соціалізуючої ролі природничого музею в умовах трансформації українського суспільства **46**

геологія та палеонтологія

Бояріна, Н. Пізньопенсильванська рослинність Донецького басейну України: синтаксономія рослинних угруповань [англ] **64**

Буйневич, І. Неоіхнологія слідів хребетних уздовж західного бар'єрного узбережжя України: потенціал збереження та підповерхнева візуалізація [англ] **99**

Дернов, В., М. Удовиченко. Іхнофосилії з відкладів бучацької світи (лютецький ярус, еоцен) Луганщини та їхнє палеогеографічне значення **106**

Добровольський, С., Л. Горобець. Тривалість росту, онтогенетичні події та екологічні особливості псевдозубих птахів (Odontopterygiformes): дані гістології кісток **141**

Прилипко, С., С. Альперт. Математичне обґрунтування визначення віку четвертинних відкладів **159**

Contents

museology

Barshteyn, V., Y. Blume. Pages of history of the Muséum national d'Histoire naturelle (Paris) in medal art **3**

Zagorodniuk, I. Mykola Diukov, a zoologist and collector, researcher of the fauna of Slobozhanshchyna and Dagestan **25**

Radzivill, O., V. Grytsenko. Peculiarities of the socialising role of natural history museums under conditions of transformation of the Ukrainian society **46**

geology & paleontology

Boyarina, N. The Late Pennsylvanian vegetation of the Donets Basin, Ukraine: Syntaxonomy of plant communities **64**

Buynevich, I. V. Neoichnology of vertebrate traces along the western barrier coast of Ukraine: preservation potential and subsurface visualization **99**

Dernov, V., M. Udovychenko. Trace fossils from the Buchak Formation (Lutetian, Eocene) of Luhansk Oblast, Ukraine, and their palaeogeographic significance **106**

Dobrovolsky, S., L. Gorobets. Growth duration, life history and ecological traits of bony-toothed birds (Odontopterygiformes): implications from bone histology **141**

Prylypko, S., S. Alpert. Mathematical reasoning of age determination of Quaternary sediments **159**

© Національний науково-природничий музей НАН України

біологія та екологія

Бутенко, О., А. Топчий. Визначення факторів максимального впливу на виникнення пожеж в умовах обмеження апріорної інформації у зоні бойових дій на сході України [англ] **166**

Гарбар, О., В. Мороз, Д. Гарбар, Л. Ворончук, Н. Даниловська. Структура угруповань дощових червів в урбанізованих біотопах Центрального Полісся **173**

Загороднюк, І., З. Баркасі, О. Протасов, В. Придатко-Долін. Криза концепції біорізноманіття? Глобальні тенденції та погляд з України **183**

Ковтун, А. С. Петренко. Частота трапляння та ідентифікація нематод серед ентомопатогенних організмів у агроценозах України [англ] **214**

Титар, В. Кліматичні межі сучасного європейського ареалу граба (*Carpinus betulus*) з особливою увагою до України [англ] **225**

хроніки, історія досліджень

Михаленок, Д. Зоолог Володимир Караваєв та Карадазька наукова станція в Криму (до 160річчя з дня народження) **237**

Принь, О. Пауліна Тихонова — ботанік, завідувач Херсонського природничо-історичного музею в 1920-х і на початку 1930-х років **270**

biology & ecology

Butenko, O., A. Topchiy. Determination of factors of maximum influence on the occurrence of fires in conditions of limited a priori information in the war zone in the east of Ukraine **166**

Harbar, O., V. Moroz, D. Harbar, L. Voronchuk, N. Danylovska. The structure of earthworm communities in urbanised biotopes of the Central Polissia **173**

Zagorodniuk, I., Z. Barkaszi, O. Protasov, V. Prydatko-Dolin. The biodiversity concept in crisis? Global tendencies and a view from Ukraine **183**

Kovtun, A., S. Petrenko. Frequency of occurrence and identification of nematodes among entomopathogenic organisms in agrocoenoses of Ukraine **214**

Tytar, V. Climatic limits for the present European distribution of the common hornbeam (*Carpinus betulus*), with special reference to Ukraine **225**

chronicles, history of research

Mikhalenok, D. Zoologist Volodymyr Karavaev and the Karadag Scientific Station in the Crimea (to the 160th anniversary of his birth) **237**

Pryn, A. Paulina Tikhonova, a botanist and head of the Kherson Museum of Natural History in the 1920s and early 1930s **270**

GEO&BIO 2023, том 24

Підписано до друку 23.06.2023 р. Формат 60×84/8. Папір офсетний.
Гарнітура Minion Pro. Ум.-друк. арк. 34,5. Обл.-видав. арк. 24,9. Наклад 100 прим.

Друк: ТзОВ «Простір М»
Свідоцтво ДК №2116 від 21.04.2005 р. про внесення до Державного реєстру видавців України
вул. Чайковського, 27, Львів, 79000 Україна; тел.: (0320) 261-09-05; e-mail: prostir@litech.net

GEO&BIO

2023 • vol. 24, pp 3–24
https://doi.org/10.53452/gb2403

Pages of history of the Muséum national d'Histoire naturelle (Paris) in medal art

Victor Barshteyn , Yaroslav Blume

Institute of Food Biotechnology and Genomics, NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

article info

key words

Muséum national d'Histoire naturelle (Paris), Garden of the Plants, history of biology, medal art, table medal.

correspondence to

Victor Barshteyn; Institute of Food Biotechnology and Genomics, NAS of Ukraine; 2a Baidy-Vyshnevetskoho Street, Kyiv, 04123 Ukraine; Email: barmash14@gmail.com; orcid: 0000-0002-0809-5759

article history

Submitted: 01.04.2023. Revised: 15.05.2023. Accepted: 30.06.2023

cite as

Barshteyn, V., Y. Blume. 2023. Pages of history of the Muséum national d'Histoire naturelle (Paris) in medal art. *GEO&BIO*, **24**: 3–24. [In Ukrainian, with English summary]

abstract

The article briefly covers the pages of the history of the Muséum national d'Histoire naturelle (Paris, France), which was established in 1793, inheriting the material base and collections of one of the oldest botanical gardens in the world—the Royal Garden of Medicinal Plants. Contribution to the development of the Royal Garden of Medicinal Plants was made by its leaders and employees: Guy de La Brosse, Guy Crescent Fagon, Joseph Pitton de Tournefort, Pierre Chirac, the family of French botanists de Jussieu, Georges-Louis Leclerc, Comte de Buffon, and Jacques-Henri Bernardin de Saint-Pierre. After its foundation, the museum was managed, among others, by Louis Jean-Marie D'Aubenton, Bernard Germain Étienne de Laville-sur-Illon, comte de Lacépède, George-Léopold-Chrétien-Frédéric-Dagobert Cuvier, Michel Eugène Chevreul, Adolphe Théodore Brongniart, André Marie Constant Duméril, Isidore Geoffroy Saint-Hilaire, Alphonse Milne-Edwards, Jean Octave Edmond Perrier, Achille Joseph Urbain, Maurice Alfred Fontaine, and Jean Dorst. The heyday of the scientific activity of the Museum was during the long years of leadership of Michel Eugène Chevrel. Table medals of France and the USA, researched and described by the authors of the article, were created to honour these famous scientists. Attention is also drawn to modern tourist medals (tokens) dedicated to the Museum's facilities: the Garden of the Plants, the Great Evolution Gallery, the Palaeontological Museum (Galleries of Comparative Anatomy and Palaeontology), the Botanical Garden Zoo, and the Vincennes Zoo. The results of the analysis of the medals made it possible to display in a new plane the most vivid pages of the history of the Museum, the function of which is teaching, research, and dissemination of natural science knowledge, its modernity, biographies of outstanding personalities who worked in it. Most of the medals were first introduced into scientific biological circulation. The obtained information once again confirmed the possibility of using objects that are studied by special historical disciplines (in this case, the section of numismatics, medal art) for the study of the history of science.

© 2023 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.

Сторінки історії Національного музею природознавства (Париж) в медальєрному мистецтві

Віктор Барштейн, Ярослав Блюм

Резюме. В статті коротко висвітлено сторінки історії Національного музею природознавства (Париж, Франція), який виник у 1793 році, успадкувавши матеріальну базу й фонди одного з найстаріших в світі ботанічних садів — Королівського саду лікарських рослин. Той чи інший внесок у розбудову Королівського саду лікарських рослин належав його керівникам та співробітникам: Гі де ля Броссу, Гі Кресану Фагону, Жозефу Піттону де Турнефору, П'єру Шираку, сім'ї французьких ботаніків де Жюссьє, Жоржу-Луї Леклерку, графу де Бюффону, Жак-Анрі Бернардену де Сен-П'єру. Особливу увагу привертає постать Жоржа-Луї Леклерка, графа де Бюффона, який керував Садом майже 50 років та досяг великих здобутків у його розбудові. Музеєм, після його заснування, керували, серед інших: Луї Жан-Марі Добантон, Бернар-Жермен-Етьєн де ла Віль-сюр-Ілон де Ласепед, Жорж Леопольд Кюв'є, Мішель Ежен Шеврель, Адольф Теодор Броньяр, Андре-Марі-Констан Дюмеріль, Етьєн Жоффруа Сент-Ілер, Альфонс Мілн-Едвардс, Жан Октав Едмон Пер'є, Ахілл Джозеф Урбен, Моріс Альфред Фонтен та Жан Дорст. Розквіт наукової діяльності Музею припав на довгі роки керівництва установою Мішелем Еженом Шеврелем, чиї роботи сприяли суттєвому розвитку науки, медицини та мистецтва. На честь цих відомих учених були створені настільні медалі Франції та США, досліджені та описані авторами статті. Увагу звернули і на сучасні туристичні медалі (жетони), присвячені закладам Музею: Саду рослин, Великій галереї еволюції, Палеонтологічному музею (Галереї порівняльної анатомії та палеонтології), Звіринцю Саду рослин та Венсенському зоопарку. Результати аналізу медалей дозволили відобразити у новій площині найбільш яскраві сторінки історії Музею, функцією якого є викладання, дослідження та поширення природознавчих знань, його сучасність, біографії видатних особистостей, які працювали в ньому. Більшість медалей була вперше введена до наукового біологічного обігу. Отримані відомості ще раз підтвердили можливість використання об'єктів, які вивчаються спеціальними історичними дисциплінами (в даному випадку — розділом нумізматики, медальєрним мистецтвом) для дослідження історії наук.

Ключові слова: Національний музей природознавства (Париж), Сад рослин, історія біології, медальєрне мистецтво, настільна медаль.

Адреса для зв'язку: Віктор Барштейн; Інститут харчової біотехнології та геноміки НАН України; вул. Байди-Вишневецького, 2а Київ, 04123 Україна; Email: barmash14@gmail.com; orcid: 0000-0002-0809-5759

Вступ

10 червня 2023 року виповнилося 230 років з дня заснування в Парижі декретом Національного конвенту Франції Національного музею природознавства (фр. Muséum national d'histoire naturelle). Музей виник не на порожньому місці, він успадкував матеріальну базу й фонди Королівського саду лікарських рослин (нині — Сад рослин, фр. Jardin des plantes), що заснований 1635 року, за Людовика XIII. Як і більшість давніх ботанічних садів, він мав функцію забезпечення лікарськими рослинами [Blume & Barshteyn 2016].

Автори звертали увагу на важливість в історичних дослідженнях матеріальних історичних джерел, таких як настільні медалі, що вивчаються дисципліною, яка має назву медальєрне мистецтво [Andreychyn & Barstein 2022]. Інформація стосовно нагородних і пам'ятних настільних медалей має містити, на наш погляд, не лише зображення, але й технічні дані, опис зображень та текст, вміщений на медалях. За такої умови можна говорити про введення цих медалей у науковий обіг, на відміну від існуючих каталогів [Freeman 1964; Sammlung…. 1989] та публікацій [Stolyarik 2012].

Керівникам Саду та Музею, співробітникам Саду, самим установам присвячено багато настільних медалей, перш за все — французьких. У поданні матеріалу ми будемо намагатися притримуватися хронологічного принципу.

Мета роботи — описати історію та сучасність Національного музею природознавства (Париж), дослідити та ввести у науковий обіг настільні медалі, присвячені історії Саду рослин та Музею.

Матеріали і методи

У роботі використано як загальнонаукові (історичний, логічний), так і спеціальні (предметно-хронологічний, ретроспективний) методи дослідження. Збір, аналіз та інтерпретацію даних про медальєрне мистецтво здійснювали за допомогою спеціальних книг, каталогів і журналів — нумізматичних і біологічних. Здійснено пошук інформації на міжнародних нумізматичних аукціонах (cgb.fr, MA-Shops, ebay, NumisBids, Medailles et antiques, delcampe, Numisaisne, Elysees Numismatique), у відповідних каталогах [Freeman 1964; Sammlung…. 1989], книгах [Barshteyn & Barshteyn 2003], журнальних публікаціях, музейних експозиціях (Лувр: https://bit.ly/3KzOaJ4, https://bit.ly/3o29rDL; Угорська національна галерея: https://bit.ly/3UuPTEc) і на інтернет-сторінках монетних дворів різних країн, а також використано власну колекцію медалей.

Вжите скорочення: ПМД — Паризький монетний двір.

Коротка історія Саду рослин

Придворний ботанік, лікар та фармацевт Гі де ля Бросс (фр. Guy de La Brosse, 1586–1641) був серед засновників та керував садом у 1635–1641 роках. Сад було відкрито для публіки 1640 року [Howard 1981].

Напис французькою мовою в 5 рядків у нижній частині аверсу медалі (⌀ 72 мм, бронза, автор — H. Dropsy, ПМД, Франція, 1935), присвяченої 300-річчю саду (рис. 1), свідчить: «Lovis XIII par vn edit de Mai 1635/ etablit le Jardin des Plantes/ av favborg Saint Victor/avec Gvy de La Brosse/ intendant»[1] (Сад рослин закладено Людовіком XIII у передмісті Сен-Віктор згідно указу від травня 1635 року під керівництвом інтенданта Гі де Ла Бросса). Більшу частину аверсу займає профільна фігура вершника, повернена праворуч, на коні, що став дибки, на тлі Королівського саду (у вигляді, що він мав на момент закладення). Це або Людовік XIII, або Гі де ля Бросс. Над зображенням, кружно напис французькою мовою: «Jardin dv Roy povr la cvltvre des plantes medicinales» (Королівський сад для культивування лікарських рослин). У центрі реверсу, на тлі будівлі в Саду, три алегоричні фігури, жінки, що сидять. Середня розглядає квітку через лупу та уособлює ботаніку, ліва тримає череп тварини та уособлює анатомію, права тримає хімічну колбу та книгу, уособлюючи хімію. Це підтверджує горизонтальний напис у два рядки над зображенням: «Botaniqve Anatomie Chimie» (Ботаніка Анатомія Хімія). Під зображенням — ювілейні дати: «1635–1935».

Хрещеник Гі де ля Бросса, лікар і ботанік, почесний член Французької академії наук Гі Кресан Фагон (фр. Guy Crescent Fagon, 1638–1718), який керував Садом у 1693–1718 роках, як інтендант і сюрінтендант забезпечив йому істотний прогрес. Почавши працювати в Королівському саду лікарських рослин, Фагон здійснив ряд експедицій, у тому числі, в Альпи та Піринеї. Його перу належить більша частина першого каталогу саду (Hortus regius), виданого 1665 року, що містив розповідь про 4500 видів рослин. Завдячуючи медичним успіхам, Фагон був лікарем дофіна з 1668 р., а з 1693 р. — придворним лікарем короля Людовіка XIV [Caen & Pidard 1996].

Гі Кресану Фагону присвячений жетон (⌀ 29 мм, латунь, Франція, кінець XVII ст.), на аверсі якого вміщено профільний, погрудний, повернений ліворуч портрет лікаря і ботаніка (рис. 2). Кружно напис латиною: «Gvido Cr Fagon regi a s c archiat comes» (Гі Кресан Фагон архіатр короля). На реверсі жетону — три квітки, очевидно, роду *Fagonia*, названого на честь Фагона, із родини паролистові (Zygophyllaceae). По краю кружно напис латиною: «Qve dire plvs penser» (Перед тим, щоб сказати, треба більше думати).

[1] Написання літери «U» як «V», вжите тут в усіх описах медалей, не є помилкою і має відтворюватися саме так: такий правопис вжито в оригінальних написах на зразках. — Прим. ред.

Рис. 1. Медаль на честь 300-річчя Королівського саду рослин. Аверс та реверс. Фото В. Барштейна з оригіналу.

Fig. 1. Medal in honour of the 300th anniversary of the Royal Garden of Medicinal Plants. Obverse and reverse. V. Barshteyn's photo of the original.

Рис. 2. Жетон на честь Гі Кресана Фагона. Аверс та реверс. Фото: https://www.cgbfr.com/

Fig. 2. Token in honour of Guy Crescent Fagon. Obverse and reverse. Photo: https://www.cgbfr.com/

1683 року Фагон залучив до роботи в якості професора ботаніки Королівського саду лікарських рослин Жозефа Піттона де Турнефора (фр. Joseph Pitton de Tournefort, 1656–1708), якого було 1691 року обрано членом Паризької академії наук.

За наказом Людовіка XIV Турнефор здійснив ряд експедицій до Піринеїв, Альпів, Іспанії, Португалії, Дофіне, де зібрав великі колекції рослин. У 1700–1702 рр. він збирав рослини та проводив природничо-історичні та етнографічні дослідження в Греції, Константинополі, Вірменії, Грузії, Палестині. Турнефор зібрав та описав понад 1000 видів рослин. Основні наукові праці Турнефора присвячено ботаніці та систематиці рослин. Він запропонував оригінальну штучну класифікацію рослин, яку можна розглядати як спробу запровадження бінарної номенклатури. Турнефор ввів до систематики поняття «рід». Його класифікація, прийнята у першій половині XVIII в. ділила рослини на два відділи — трави та дерева (з чагарниками), далі йшли 22 класи. За основу поділу було взято ознаки будови віночка квітки. Рослини без квіток та плодів були виділені в окремі класи. Турнефор зміг упорядкувати різноманітність рослин, звівши відомі на той момент 6000 видів приблизно до 600 родів [Daston 2015].

300-річчю від дня народження Турнефора присвячено французьку медаль (∅ 71 мм, бронза, автор — Vezien, ПМД, 1956). У центрі аверсу — профільний, погрудний, повернений праворуч портрет ученого (рис. 3). Кружно напис: «Joseph Pitton de Tournefort 1656 1708». У верхній частині реверсу квітки та листя. Можна припустити, що це рослина з роду Турнефорція (*Tournefortia*) родини геліотропові (Heliotropiaceae), яка отримала від Карла Ліннея це ім'я на честь Турнефора. Нижче — дев'ятирядковий напис французькою мовою: «Commemoration/ du/ tri-centenaire/ 9 et 10 Juin 1956/ la ville D`Aix en Provence/ ou il est ne/ le Museum National/ D`H^{re} Natt^{lle} de Paris/ ou il a enseigne» (Відзначення трьохсотріччя 9 та 10 червня 1956 року місто Екс-ан-Прованс, де він народився Національний музей природознавства Парижу, де він викладав).

Наступником Фагона на посаді суперінтенданта Саду став лікар П'єр Ширак (фр. Pierre Chirac, 1650–1732), який керував Садом у 1718–1732 роках. У 1730 р. він став придворним лікарем Людовіка XV.

Рис. 3. Медаль до 300-річчя Жозефа Піттона де Турнефора. Аверс та реверс. Фото В. Барштейна з оригіналу.

Fig. 3. Medal for the 300th anniversary of Joseph Pitton de Tournefort. Obverse and reverse. V. Barshteyn's photo of the original.

Рис. 4. Медаль на честь П'єра Ширака. Аверс та реверс. Фото В. Барштейна з оригіналу.

Fig. 4. Medal in honour of Pierre Chirac. Obverse and reverse. V. Barshteyn's photo of the original.

250-річчю від дня смерті Ширака присвячено французьку медаль (∅ 68 мм, бронза, автор — H. Guastalla, ПМД, 1982). Поясний, повернений на три чверті праворуч, портрет суперінтенданта займає більшу частину аверсу (рис. 4). Ліворуч та праворуч від портрету написи: «Pierre» «Chirac», по краю, кружно, напис французькою мовою: «Premier medecin dv roy Lovis XV 1650–1732» (Придворний лікар короля Людовіка XV 1650–1732). У центрі реверсу — медична емблема, посох Асклепія, обвитий змією. Ліворуч трирядковий напис латиною: «Terret/ sed/ sanat» (Лякає, але зцілює). Знизу та праворуч, кружно напис французькою мовою, що являє собою переклад вищезазначеного латинського вислову: «l`il terrifie il guerit aussi».

Ширак не зробив видатного внеску в розвиток Королівського саду, на відміну від ботаніків, які працювали при ньому на відповідній кафедрі. Учнем Турнефора в Університеті Монпельє був Антуан де Жюссьє (фр. Antoine de Jussieu, 1686–1758), французький ботанік, який очолив у 1710 р. кафедру ботаніки при Королівському саду лікарських рослин. Перед цим він здійснив з молодшим братом Бернаром наукову подорож Іспанією, Португалією та південною Францією.

Взагалі, унікальна сім'я французьких ботаніків де Жюссьє така, що не розповівши про кожного з її членів, неможливо розповісти про Королівський сад лікарських рослин Парижа та Музей природознавства.

Перш за все, цій сім'ї присвячена французька медаль (∅ 59 мм, бронза, автор — E.A. Oudine, ПМД, 1859). Три профільні, головні, повернені ліворуч портрети зображені на аверсі медалі (рис. 5): Бернар де Жюссьє (фр. Bernard de Jussieu, 1699–1777), Антуан Лоран де Жюссьє (фр. Antoine-Laurent de Jussieu, 1748–1836), Адрієн Анрі Лоран де Жюссьє (фр. Adrien Henri Laurent de Jussieu, 1797–1853). По краю, кружно відповідний напис: «Bernard·Antoine-Laurent·Adrien 29 Juin 1853». Реверс медалі — текстовий, 9 рядків: «Aux botanists / de la famille de Jussieu» (ботанікам родини Жюсьє), «Antoine 1686 1758 Bernard 1699 1777 Joseph 1704 1779 Antoine-Laurent 1748 1836 / Adrien / 1797 1853», « Hommage des enfants/ D'Adrien de Jussieu» (з повагою, діти Адрієна де Жюссьє).

Антуан де Жюссьє був старшим братом Бернара і Жозефа.

Рис. 5. Медаль на честь сім'ї ботаніків де Жюссьє. Аверс та реверс. Фото В. Барштейна з оригіналу.

Fig. 5. Medal in honour of the family of botanists de Jussieu. Obverse and reverse. V. Barshteyn's photo of the original.

Рис. 6. Медаль, присвячена Бернару де Жюссьє. Аверс та реверс. Фото В. Барштейна з оригіналу.

Fig. 6. Medal dedicated to Bernard de Jussieu. Obverse and reverse. V. Barshteyn's photo of the original.

Рис. 7. Медаль 1983 р., присвячена Бернару де Жюссьє. Аверс та реверс. Фото В. Барштейна з оригіналу.

Fig. 7. Medal of 1983, dedicated to Bernard de Jussieu. Obverse and reverse. V. Barshteyn's photo of the original.

Бернар — випускник медичного факультету Університету в Монпельє (1720), зайняв на запрошення брата в 1722 р. місце демонстратора кафедри ботаніки в Королівському саду рослин. У 1725 р. Бернар став членом Французької академії наук. Він розробив першу природну систему рослин, відповідно до якої в 1759 р. були розташовані живі рослини в Тріанонському парку у Версалі. Він групував рослини за природними властивостями. Письмово виклав цю систему рослин пізніше племінник Бернара Антуан Лоран. На Карла Ліннея система рослин Бернара де Жюссьє справила велике враження, як і зустріч із французьким ботаніком.

Бернару де Жюссьє присвячена медаль (∅ 40 мм, бронза, автор — F. Depaulis, 1823) відомої серії «Galerie Metallique des Grands Hommes Francais» (Галерея великих французів у металі). Більшу частина аверсу (рис. 6) займає профільний, погрудний, повернений ліворуч портрет видатного ботаніка. Ліворуч та праворуч написи: «Bernard», «de Jussieu». Реверс медалі — текстовий, 10 рядків: «Né/ a Lyon/ en M. DC. XCIX./ mort/ en M. DCC. LXXVII./–/ Galerie metallique/ des grands hommes français./–/ 1823» (Народився в Ліоні 1699 року. Помер 1777 року. Галерея великих французів у металі. 1823 рік).

Бернару де Жюссьє присвячена ще одна французька медаль (∅ 68 мм, бронза, автор — A. Landry, ПМД, 1983). Більшу частину аверсу (рис. 7) займає профільний, поясний, повернений

ліворуч портрет ученого, що розглядає квітку в лупу. Ліворуч і праворуч, кружно напис: «Bernard de», «Jvssiev 1699 1777». Більшу частину реверсу займає розлоге дерево, ліворуч від якого, знизу напис у шість рядків французькою мовою: «Le temps passé a ecriré est dv temps perdv povr observer.» (Час, витрачений на письмовий опис, втрачено для спостережень).

Брат Антуана та Бернара — Жозеф де Жюссьє вивчав у Ліоні медицину та природознавство. Величезна колекція рослин (деяких ще не бачили на той час у Європі) стала результатом 36 років досліджень тропіків Америки (1771). Зараз ця колекція зберігається в Національному музеї природознавства в Парижі, частиною якого є Сад рослин. 1758 року Жозефа де Жюссьє обрано до Французької академії наук.

Племінник Антуана, Бернара та Жозефа — Антуан Лоран де Жюссьє — став демонстратором кафедри ботаніки в Саду рослин після дядька Бернара, розвинув його теорію, звертаючи увагу на характерні риси рослин. Антуана Лорана вважають засновником природної системи рослин, не применшуючи заслуги його дядька, який заклав основи цієї системи. Представлена Антуаном Лораном в Академію наук в 1773–1777 рр., робота була видана і склала цілу еру в історії ботаніки. З 1789 р. по 1824 р. Антуан Лоран вніс ряд доповнень до своєї системи, намагаючись її вдосконалити. Він вважав, що слід звертати увагу на характерні риси органів рослин, підпорядковуючи одна одній, дивлячись по групі рослин. Ідея підпорядкування груп відрізняє систему Антуана Лорана від систем його попередників і сучасників. Антуан Лоран був членом Академії.

Продовжувачем династії ботаніків став син Антуана Лорана — Адрієн Анрі Лоран де Жюссьє. З 1826 року він очолював кафедру ботаніки Саду рослин. У 1831 році Адрієн Анрі Лоран був обраний членом Французької Академії наук, а в 1853 році — її президентом. У 1845 р. він став професором фізіології рослин у Сорбонні. Адрієн Анрі Лоран був автором низки фундаментальних монографій, серед яких і посібник з ботаніки, перекладений на всі основні європейські мови.

Розповідаючи про династію де Жюссьє, ми трохи порушили хронологічний принцип. У 1739 р. сюрінтендантом Королівського саду рослин був призначений видатний натураліст, біолог, математик та письменник XVIII ст. Жорж-Луї Леклерк, граф де Бюффон (фр. Georges-Louis Leclerc, Comte de Buffon, 1707–1788), який керував садом близько 50 років (до 1788) і якому сад завдячує своїм розквітом. На той час Бюффон був членом Французької академії наук, переважно завдяки своїм математичним успіхам. Бюффона не приваблювала строгість і методичність Ліннея у систематиці та класифікації. Він яскраво описував природу, тварин і рослини, виходячи з зібраних фактів намагався прояснити систему природи. На відміну від Ліннея Бюффон висловив ідеї про зміну видів під впливом умов довкілля протягом тривалого часу. Висновки, зроблені щодо тварин, він переносив і на рослини [Ambrose 2009].

Найвідомішим твором Бюффона стала 36-томна «Природна історія» або як це звучить повністю французькою мовою: «Histoire Naturelle, générale et particulière, avec la description du Cabinet du Roi» (1749–1804). В основному написана самим Бюффоном, вона була доповнена після його смерті колегами. Бюффон був обраний членом Лондонського королівського товариства (1740) та Петербурзької АН (1776).

Жоржу-Луї Леклерку, графу де Бюффону присвячена медаль (∅ 40 мм, бронза, автор — E. Gatteaux, 1817) серії «Галерея великих французів у металі» (Galerie Metallique des Grands Hommes Français). Більшу частину аверсу (рис. 8) займає профільний, погрудний, повернений праворуч портрет видатного дослідника природи. Реверс медалі — текстовий, 10 рядків: «Né/ a Montbar/ en M. DCC. VII./ Mort/ en M. DCC. LXXXVIII./–/ Galerie metallique/ des grands hommes français./–/ 1817» (Народився в Монбарі в 1707 році. Помер у 1788 році. Галерея великих французів у металі. 1817 рік).

Дуже оригінальна медаль на честь Бюффона створена скульптором А. Бело (A. Belo) в 1955 р. (∅ 70 мм, бронза, ПМД, Франція). У центрі аверсу — дещо шаржований, майже профільний,

Рис. 8. Медаль 1817 р. на честь графа де Бюффона. Аверс та реверс. Фото В. Барштейна з оригіналу.

Fig. 8. Medal of 1817 in honour of Count de Buffon. Obverse and reverse. V. Barshteyn's photo of the original.

Рис. 9. Медаль 1955 р., присвячена графу де Бюффону. Аверс та реверс. Фото В. Барштейна з оригіналу.

Fig. 9. Medal of 1955, dedicated to Count de Buffon. Obverse and reverse. V. Barshteyn's photo of the original.

Рис. 10. Медаль 1976 р., присвячена графу де Бюффону. Аверс та реверс. Фото В. Барштейна з оригіналу.

Fig. 10. Medal of 1976, dedicated to Count de Buffon. Obverse and reverse. V. Barshteyn's photo of the original.

повернений праворуч портрет ученого (рис. 9), на реверсі — зображення представників тваринного світу. Посада керівника Королівського саду рослин згадується в тексті на аверсі наступної французької медалі (∅ 73 мм, бронза, автор — J. P. Rethore, 1976). Основою зображення (Бюффон, що сидить у кабінеті), послужив акварельний портрет вченого, створений французьким поетом, художником і архітектором Кармонтелем (фр. Carmontelle, 1717–1806) у 1769 р. (рис. 10). Реверс присвячений головній праці Бюффона. У центрі — фрагмент титульного аркуша твору «Histoire Naturelle» (Природнича історія).

Бюффону присвячена і американська медаль (∅ 38 мм, бронза), що входить до серії «Видатні вчені». Бюффона, що займається зі своїми колегами дослідженнями, зображено у верхній частині аверсу (рис. 11). У нижній частині — представники тваринного світу та напис: «Buffon». Реверс характерний для всіх медалей цієї серії, у верхній третини — зображення первісної людини, глобуса, морського коника, мікроскопа, реторти, квітки, планети Юпітер, моделі атома тощо. Нижче — текст у чотири рядки: «Georges-Louis Leclerc,/ Comte de Buffon/ (1707–1788)/ historian of nature» (Жорж-Луї Леклерк, граф де Бюффон/ (1707–1788)/ історик природи).

Рис. 11. Медаль (1) США, присвячена Буффону. Аверс та реверс. Фото В. Барштейна з оригіналу.

Fig. 11. Medal (1) USA, dedicated to Buffon. Obverse and reverse. V. Barshteyn's photo of the original.

Рис. 12. Медаль (2) США, присвячена Буффону. Аверс та реверс. Фото: https://franklin-mint-silver.com/

Fig. 12. Medal (2) USA, dedicated to Buffon. Obverse and reverse. Photo: https://franklin-mint-silver.com/

Рис. 13. Медаль, присвячена Бернардену де Сен-П'єру. Аверс та реверс. Фото: https://www.cgbfr.com/

Fig. 13. Medal dedicated to Bernardin de Saint-Pierre. Obverse and reverse. Photo: https://www.cgbfr.com/

Ще одна медаль США (рис. 12) подібної серії присвячена Буффону (∅ 39 мм, срібло, Franklin Mint, остання третина XX ст.). Головний, майже анфас, портрет ученого займає верхню частину аверсу. Праворуч фігура вченого, що проводить мікроскопічні дослідження на весь зріст. У нижній частині та ліворуч — кінь, сова та черепаха. У верхній частині реверсу — зображення, типове для медалей цієї серії, фігура людини, яку оточує сонячна система. Під цим зображенням напис у 9 рядків: «G. L. Leclerc,/ count de Buffon/ 1707–1788/ famed as the author of the massive/ «Histoire Naturelle Generale.» in this/ great scientific work he compiled/ all existing knowledge about/ anthropology, natural/history and geology.» (Ж. Л. Леклерк, граф де Бюффон 1707–1788 відомий як автор капітального твору «Загальна природна історія». У цій великій науковій праці він виклав усі існуючі знання про антропологію, природознавство та геологію).

Отже, що змінилося під час керівництва садом Бюффона? Вдвічі збільшилася територія саду, яка спочатку становила 50 000 м^2. Було висаджено широку алею лип, з'явилося безліч нових рослин. Бюффон збудував великий амфітеатр, організував кабінет природної історії, хімічну лабораторію. Був створений Великий лабіринт, що зберігся до наших днів, — спіралеподібна доріжка, що веде до вершини пагорба крізь вічнозелені зарості. На вершині пагорба

у 1786–1788 рр. споруджена альтанка — Глоріетта Бюффона (від фр. gloriette — зменшувальне від слова «слава»), що є однією з найстаріших суцільнометалевих конструкцій у світі (вона старша за Ейфелеву вежу на понад 100 років).

У 1792 році сюрінтендантом Саду рослин став письменник і ботанік Жак-Анрі Бернарден де Сен-П'єр (фр. Jacques-Henri Bernardin de Saint-Pierre, 1737–1814), автор знаменитої повісті «Поль і Віржіні». Бернарден перемістив у 1792 р. з Версаля Королівський звіринець до Саду рослин і організував у ньому Зоопарк (фр. Ménagerie du Jardin des Plantes), який відкрився 1794 року. Крім звірів із Версаля, у ньому були конфісковані у вуличних артистів. Бернарден об'їхав півсвіту, причому, на відміну від свого вчителя Жан-Жака Руссо, його цікавили не проблеми суспільства, а природа. Руссо надихнув Бернардена на написання «Етюдів про природу» (3 т.), які він писав з 1873 року до кінця життя [Ford 2009].

Бернардена обрано членом Французької Академії у 1803 році.

Жак-Анрі Бернарден де Сен-П'єр присвячена медаль (∅ 40 мм, бронза, скульптор — F. Chardigny, Франція, 1823) вже згадуваної серії «Галерея великих французів у металі». Більшу частину аверсу (рис. 13) займає профільний, погрудний, повернений праворуч портрет письменника та ботаніка. Реверс медалі — текстовий, 10 рядків: «Né/ au Havre/ en M. DCC. XXXVII./ Mort/ en M. DCCC. XIV./–/ Galerie metallique/ des grands hommes français./–/1823» (Народився в Гаврі 1737 року. Помер 1814 року. Галерея великих французів у металі. 1823 рік).

Директори Музею природознавства

Отже, 1793 року на базі Саду рослин було засновано Національний музей природознавства. З 1793 р. по 1800 р. директор Музею призначався на один рік, з 1800 р. по 1863 р. — на два роки, а з 1863 р. по 1999 р. — на п'ять років, з 2002, Президент — на п'ять років [Liste des directeurs… 2023].

Французький натураліст, член Французької та Петербурзької академій наук Луї Жан-Марі Добантон (фр. Louis Jean-Marie D'Aubenton, також Daubenton, 1716–1800) став першим директором Національного музею природознавства (1793–1794). Він очолював Музей також у 1796–1797 та 1797–1798 рр.

Серед наукових заслуг Добантона участь в підготовці «Природної історії» Бюффона. Добантон дав порівняльно-анатомічну характеристику 182 видів ссавців, з яких понад 50 були препаровані вперше, а також 7 видів кажанів, які до того не були відомі. З 1788 р. і до самої смерті Добантон був професором Саду рослин [Loveland 2006].

ПМД достатньо часто випускає туристичні сувенірні медалі (жетони). У 2016 році така медаль (∅ 34 мм, «північне золото» — мідно-алюмінієвий сплав золотистого кольору) була присвячена Музею і Парку Бюффона в Монбарді. Аверс медалі (рис. 14) прикрашають головні, анфас портрети Бюффона та його найближчого співробітника — Добантона. По краю, кружно напис, ліворуч, зверху та праворуч: «Musée & Parc Buffon de Montbard» (Музей і парк Бюффона в Монбарді), знизу: «Au siècle des lumières» (У просвітництві). В центрі реверсу зображення будівлі Паризького монетного двору, під ним відповідний напис: «Monnaie de Paris». Далі кружно, написи, зверху: «France», знизу: «2016», з'єднані 14 зірками праворуч і ліворуч. По краю, кружно, слово Франція написано вісьмома мовами.

Антуан Лоран де Жюссьє, про якого мова йшла вище, обіймав посаду директора Музею в 1794–1795, 1798–1799 та 1799–1800 рр.

Перші праці з натуральної історії французького зоолога (іхтіолога, орнітолога, герпетолога), політика, письменника, композитора та фізика Бернара-Жермена-Етьєна де ла Віль-сюр-Ілона де Ласепеда (фр. Bernard Germain Étienne de Laville-sur-Illon, comte de Lacépède, 1756–1825) привернули до себе 1781 року увагу Жоржа-Луї Леклерка де Бюффона. Б.-Ж.-Е. Ласепед прийняв пропозицію Бюффона працювати над класифікацією плазунів і риб для «Природної історії». Посада куратора королівської колекції в Саду рослин сприяла роботі над класифікацією.

Рис. 14. Медаль із зображенням Луї Жан-Марі Добантона. Аверс та реверс. Фото: https://fr.numista.com/

Fig. 14. Medal with the image of Louis Jean-Marie Daubenton. Obverse and reverse. Photo: https://fr.numista.com/

Рис. 15. Медаль, присвячена де Ласепеду. Аверс та реверс.
Фото: https://www.cgbfr.com/

Fig. 15. Medal dedicated to de Lacepede. Obverse and reverse.
Photo: https://www.cgbfr.com/

Згодом Б.-Ж.-Е. Ласепеда було призначено завідувачем відділу зоології Національного музею природознавства в Парижі. Після смерті Бюффона вийшло ще 8 томів «Природничої історії» завдяки зусиллям самого Ласепеда (5 томів були присвячені рибам, 1798–1803). У 1799 р. він став сенатором, у 1801 р. обраний президентом Сенату, 1803 р. став першим Великим канцлером ордену Почесного легіону, а 1804 року був призначений міністром. У 1795–1796 році (один рік) Б.-Ж.-Е. Ласепед був Директором Національного музею природознавства.

Б.-Ж.-Е. Ласепед приділяв багато уваги масонський діяльності. Саме цій діяльності Ласепеда присвячена французька медаль (∅ 41,8 мм, бронза, автор — Peuvrier, 1829). На аверсі медалі (рис. 15) — профільний портрет ученого, повернений праворуч, ко краю, кружно напис: «B.G.É. de La Ville Sur-Illon, Lacépède. Paris 1829» (Б.-Ж.-Е. Віль-Сюр-Ілона Ласепед. Париж 1829). На реверсі — напис, котрий свідчить про те, що Б.-Ж.-Е. Ласепед був членом Великої ложі Франції [Barshteyn & Blume 2021].

Видатний французький натураліст, якого вважають засновником порівняльної анатомії й палеонтології Жорж Леопольд Кюв'є (фр. George-Léopold-Chrétien-Frédéric-Dagobert Cuvier, 1769–1832), працював на посаді директора Музею 1808–1809 рр., 1822–1823 рр., 1826–1827 рр., 1830–1831 рр.

Саме з роботами Кюв'є головним чином і пов'язують реформу зоологічної систематики на початку XIX ст. Завдяки порівняльно-анатомічному методу Кюв'є виділив ознаки будови тварин, які дозволили йому в 1812 р. згрупувати всіх тварин у чотири типи або гілки, заклавши тим самим основи вчення про типи в зоології, — хребетні (Vertebrata), м'якотілі (Mollusca), членисті (Articulata) та променеві (Radiata).

Пам'яті Жоржа Кюв'є присвячено прекрасну французьку медаль (68 мм, бронза, скульптор — Antoine Bovy, 1834). Портрет ученого, виконаний дуже високим рельєфом, погрудний, профільний, повернений ліворуч, розташовано в центрі аверсу медалі (рис. 16). По краю медального поля, кружно напис французькою мовою, ліворуч: «Georges Cuvier» (Жорж Кюв'є), праворуч: «Ne a Montbeliard en 1769. Mort a Paris en 1832.» (Народився в Монбельярі в 1769.

Рис. 16. Медаль 1834 року, присвячена Жоржу Леопольду Кюв'є. Аверс та реверс. Фото В. Барштейна з оригіналу.

Fig. 16. Medal of 1834, dedicated to Georges Léopold Cuvier. Obverse and reverse. V. Barshteyn's photo of the original.

Рис. 17. Французька медаль, присвячена Жоржу Леопольду Кюв'є. Аверс та реверс. Фото В. Барштейна з оригіналу.

Fig. 17. French medal dedicated to Georges Léopold Cuvier. Obverse and reverse. V. Barshteyn's photo of the original.

Рис. 18. Медаль США, присвячена Жоржу Леопольду Кюв'є. Аверс та реверс.
Фото: https://franklin-mint-silver.com/

Fig. 18. US George Léopold Cuvier Medal. Obverse and reverse.
Photo: https://franklin-mint-silver.com/

Помер у Парижі в 1832.). Реверс медалі — текстовий, французькою мовою. У центрі розташований напис у десять рядків: «Discours/ sur les révolut./du globe./ recherches sur les/ ossements fossiles./ anatomie comparée./ égne animal./ hist. des sciences/ naturelles./&.&.&.» (Теорія катастроф, пошук викопних останків, порівняльна анатомія, тваринний світ, природна історія, тощо). По краю медального поля, кружно — напис у два рядки: «Pair de France Conseiller d'etat et au Conseil royal D'Instr publ secretaire perp de L'Academie des sciences ./ L'Un des 40 de L'Acad Fr Acad Lib de L'Acad des bell lett Prof au Coll d Fr et Mus D'Hist Naturelle &.&.» (Пер Франції член Королівської державної ради Постійний секретар Академії наук/ один з 40 «безсмертних» членів Французької академії Член Академії красного письменства професор Колеж де Франс і Музея природознавства тощо) [Barshteyn 2011].

1974 року французький скульптор René Quillivic створив медаль (∅ 69,5 мм, бронза, ПМД), присвячену Кюв'є. Центральну частину аверсу займає головний, повернений на три чверті ліворуч портрет ученого. Ліворуч від портрета напис у чотири рядки: «Georges/ Cuvier/ 1769/ 1832» (рис. 17). Більшу частину реверсу займає зображення двох черепів доісторичних тварин. Горизонтальний напис у три рядки: «Paleontologie/ Anatomie/ Comparee» (Палеонтологія [та] порівняльна анатомія).

Медаль США (рис. 18) також присвячена Кюв'є (⌀ 39 мм, срібло, Franklin Mint, 1968). Головний, повернений на три чверті ліворуч, портрет ученого займає праву частину аверсу. Ліворуч — композиція: три вчених проводять розтин тварини. В нижній частині аверсу — скелет мамонта. У верхній частині реверсу — зображення, типове для медалей цієї серії, фігура людини, яку оточує сонячна система. Під цим зображенням напис у 8 рядків: «Georges/ Cuvier,/ 1769–1832/ founder of comparative anatomy and/vertebrate paleontology. Published/ in 1812 his famed work «Studies of/ fossil bones» was the first / complete account of ver- / tebrate paleontology» (Жорж Кюв'є 1769–1832 засновник порівняльної анатомії та палеонтології хребетних. Публікація 1812 року його відомої роботи «Дослідження викопалих кісток» була першим повним оглядом палеонтології хребетних).

Вище ми вже згадували Адрієна де Жюссьє. Він обіймав посаду директора Музею в 1834–1835 рр., 1842–1843 рр. та 1848–1849 рр.

Особливий розквіт Музею забезпечив видатний французький хімік-органік, Член Французької академії наук (1826), іноземний член Лондонського королівського товариства (1826), Національної академії наук США (1883), іноземний член-кореспондент Петербурзької академії наук (1853) Мішель Ежен Шеврель (фр. Michel Eugène Chevreul; 1786–1889). Він був директором Музею в 1836–1837, 1840–1841, 1844–1845, 1850–1851, 1854–1855, 1858–1859, 1862–1863 та 1863–1879 роках. Роботи Шевреля сприяли суттєвому розвитку науки, медицини та мистецтва [Shamey 2020].

Ранні роботи Шевреля з тваринними жирами зробили революцію у виробництві мила та свічок. Його вважають засновником сучасної органічної хімії, він визначив поняття хімічної сполуки, першим офіційно охарактеризував природу органічних сполук. У сфері медицини Шеврель першим продемонстрував, що діабетики виділяють глюкозу з сечею і виділив креатин. Дослідження текстильних барвників призвело до розроблення теорії кольору, яка склала наукову основу для живопису імпресіоністів і неоімпресіоністів.

Скульптор О. Роті (O. Roty) створив у 1886 році медаль, присвячену Мішелю Ежену Шевреlю (⌀ 68,5 мм, бронза, ПМД). Погрудний, профільний, повернений праворуч портрет ученого розташований в центрі аверсу (рис. 19). По краю аверсу, кружно напис: «Michel Evgene Chavrevl Membre de L`Academie des Sciences» (Мішель Ежен Шеврель Член Академії наук). Реверс: Мішель Ежен Шеврель сидить у кріслі, під яким книги, дивлячись ліворуч на молоду жінку (можливо — символ науки), яка стоїть перед ним, тримаючи лавровий вінок. Шеврель пише рукопис, який тримає на коліні. В глибині — стіл з лабораторним посудом. По краю реверсу, кружно напис: «La jevnesse francaise av doyen des etvdiants/ 31 Aovt 1786–31 Aovt 1886» (Французька молодь студентському декану/31 серпня 1786–31 серпня 1886 року).

У 1846–1847 рр. директором Музею був французький ботанік, «батько палеоботаніки», Член Французької академії наук (з 1834 року), член-кореспондент Петербурзької академії наук (з 1829 року), іноземний член Шведської королівської академії наук (з 1851 року) Адольф Теодор Броньяр (фр. Adolphe Théodore Brongniart; 1801–1876). З 1833 року до самої кончини — професор ботаніки та фізіології рослин Паризького музею природознавства.

Медаль (⌀ 67 мм, бронза, 1886) відомого французького скульптора L-O. Roty присвячена Адольфу Теодору Броньяру. Погрудний, повернений на три чверті ліворуч портрет вченого займає майже весь аверс (рис. 20). По краю медалі, ліворуч та праворуч — напис: «Adolphe» «Brongniart». У нижній частині реверсу — гілка лавру, переплетена стрічкою, зверху напис у 9 рядків: «Membre de L`Aca–/demie des.Sciences/ professeur de botanique/ au Museum D`Histoire/ Naturelle/ Inspecteur general de/ l`enseignement superieur/ Comander de La Legion/ D`Honneur» (Дійсний член ака-/ демії наук/ професор ботаніки/ в Музеї/ природознавства/ Генеральний інспектор/ навчальних закладів/ Командор ордену Почесного легіону). Під гілкою напис праворуч у 3 рядки: «XIV/ Janvier / M.DCCC.I» (14 січня 1801 року), ліворуч — у 2 рядки: «VIII Fevrier / M.DCCC.LXXVI.» (8 лютого 1876). На стрічці напис, основна тематика дослідника: «Physiologie vegetale plante fossile» (Фізіологія викопних рослин).

Рис. 19. Французька медаль, присвячена Мішелю Ежену Шеврелю. Аверс та реверс. Фото: https://en.mng.hu/artworks/michel-eugene-chevreul-2/

Fig. 19. French medal dedicated to Michel Eugene Chevreul. Obverse and reverse. Photo: https://en.mng.hu/artworks/michel-eugene-chevreul-2/

Рис. 20. Медаль, присвячена Адольфу Теодору Броньяру. Аверс та реверс. Фото: https://medaillesetantiques.bnf.fr/

Fig. 20. Medal dedicated to Adolphe Theodor Brongniart. Obverse and reverse.
Photo: https://medaillesetantiques.bnf.fr/

Рис. 21. Медалі, присвячені А. М. К. Дюмерілю та І. Жоффруа Сент-Ілеру. Фото: https://collections.louvre.fr/

Fig. 21. Medals dedicated to A. M. C. Duméril and I. Geoffroy Saint-Hilaire. Photo: https://collections.louvre.fr/

У 1852–1853 рр. Музей очолював французький зоолог Андре-Марі-Констан Дюмеріль (фр. André Marie Constant Duméril, 1774–1860). Дюмеріль працював професором кафедри амфібіології і іхтіології Саду рослин. Він очолював анатомічні роботи в медичній школі в Парижі, був професором анатомії і патології при медичному факультеті. Дюмеріль класифікував деякі біологічні види.

Дюмеріль був серед тих видатних діячів політики, науки та культури, кому присвятив у 1828 році однобічну медаль Давид д'Анже (фр. David d'Angers, справжнє ім'я — П'єр Жан Давид; 1788–1856) — французький скульптор і медальєр першої половини 19 ст., майстер меморіальної пластики. Головний, профільний, повернений ліворуч портрет ученого — в центрі медалі (рис. 21). Праворуч, вертикально ім'я вченого: «A.M.C. Dumeril» (∅ 116 мм, бронза).

Короткий період (1860–1861 рр.) очолював Музей французький зоолог Ісідор Жоффруа Сент-Ілер (фр. Isidore Geoffroy Saint-Hilaire, 1805–1861). Він почав працювати в Музеї 1824 року в якості помічника свого дуже відомого батька Етьєна Жоффруа Сент-Ілера (фр. Étienne Geoffroy Saint- Hilaire, 1772–1844) — французького натураліста, зоолога, анатома, еволюціоніста, члена Французької академії наук з 1807. Ісідор викладав зоологію та орнітологію (1829–1832). Він особливо цікавився тератологією і в середині 1830-х років опублікував свою головну

роботу з тератології: «Histoire générale et particulière des anomalies de l'organisation chez l'homme et les animaux» (Загальна та приватна історія організаційних аномалій у людини і тварин). Серед посад, які займав Ісідор Жоффруа Сент-Ілер: професор Музею, генеральний інспектор університету, член Королівської ради народної освіти, професор зоології на факультеті природничих наук, тощо.

Вже згаданий вище скульптор Давид д'Анже створив 1838 року й однобічну медаль (∅ 155 мм, бронза), присвячену Ісідору Жоффруа Сент-Ілеру. Головний, профільний, повернений ліворуч портрет ученого — в центрі медалі. Праворуч, вертикально ім'я вченого: «Isidore Geoffroy Saint-Hilaire» (рис. 21).

Імена ще двох директорів Музею присутні на реверсі французької медалі 1898 року. Це французький зоолог, палеонтолог і орнітолог, командор Почесного легіону Альфонс Мілн-Едвардс (фр. Alphonse Milne-Edwards; 1835–1900), директор Музею в 1891–1900 рр. та французький зоолог, член Французької академії наук (1892) та член Національної академії медицини (1898) Жан Октав Едмон Пер'є (фр. Jean Octave Edmond Perrier; 1844–1921), директор Музею в 1900–1919 рр.

Альфонс Мілн-Едвардс багато подорожував з дослідницькими цілями, вивчав птахів, ссавців і ракоподібних. На його честь названо п'ять видів ссавців — *Lepilemur edwardsi*, *Notiomys edwardsii*, *Malacomys edwardsi*, *Leopoldamys edwardsi*, *Propithecus edwardsi*.

Жан Октав Едмон Пер'є відомий своїми дослідженнями безхребетних (кільчастих і голкошкірих). У 1869 році він отримав ступінь доктора природничих наук. У 1876 році він очолив кафедру природної історії (молюски, хробаки та зоофіти) в Музеї, а в 1879 році став головою Товариства зоологів Франції. Пер'є брав участь у серії морських експедицій, отримавши міжнародне визнання як фахівець з морської фауни.

Медаль (∅ 68,5 мм, бронза, скульптор — L. Bottèe, ПМД), про яку ми згадували, присвячена змінам, які сталися в експозиціях Музею в 1898 році. В центрі аверсу зображення будівлі Музею, зверху, по краю (рис. 22), кружно напис: «Museum D'Histoire Naturelle de Paris» (Музей природознавства Парижу). Нижче — горизонтальний напис у чотири рядки: «Édification/ des/ nouvelles galeries/ Dutert architecte» (Будівництво/ нових галерей/ Dutert архітектор). Під зображенням Музею — гілка пальми, в середині якої, вулик. Ліворуч та знизу від гілки написи: «Anatomie Comp^{ree}» (Порівняльна анатомія), «Paleontologie anthropologie» (Палеонтологія антропологія). Праворуч від гілки напис: «Inaugurées en/ 1898» (Відкриті 1898 року). Ліворуч, в нижній частині та праворуч на реверсі зображені гілки лавру. Основна частина реверсу текстова, перелік керівництва Музею на 1898 рік. Директор — Альфонс Мілн-Едвардс, серед його співробітників — майбутній директор Жан Октав Едмон Пер'є.

Директором Національного музею природознавства з 1942 по 1949 рік був французький зоолог, ветеринар за освітою Ахілл Джозеф Урбен (фр. Achille Joseph Urbain; 1884–1957). Серед посад, які він займав: перший директор Паризького зоологічного парку, відомого як «Венсенський зоопарк» (1934–1946), керівник звіринця Саду рослин (1936–1946). Серед наукових інтересів Урбена була порівняльна патологія, психологія диких тварин та людиноподібних мавп. Він 1937 року описав новий вид бика — бика сірого, або купрея (*Bos sauveli*), за живим зразком із «Венсенського зоопарку», привезеним із Камбоджі в 1937 році. Останній раз живу тварину бачили в природі 1988 року[2].

70-річчю від дня народження Ахілла Джозефа Урбена присвячена французька медаль (∅ 59 мм, бронза, скульптор — G. A. Tremont, ПМД, 1954). Головний, профільний, повернений ліворуч портрет Урбена розташований в центрі аверсу (рис. 23). По краю, кружно напис:

[1] Borrel, T. 2014. Achille Urbain (1884–1957), de la gloire à l'oubli : un vétérinaire pasteurien au Muséum national d'Histoire naturelle. Education. Thèse de doctorat Histoire des sciences. Université Claude Bernard, Lyon I. Français. https://bit.ly/3BpH1XO

Рис. 22. Медаль, присвячена оновленню експозиції Музею. Аверс та реверс. Фото В. Барштейна з оригіналу.

Fig. 22. Medal dedicated to the update of the Museum's exhibition. Obverse and reverse. V. Barshteyn's photo of the original.

Рис. 23. Медаль, присвячена Ахіллу Джозефу Урбену. Аверс та реверс. Фото В. Барштейна з оригіналу.

Fig. 23. Medal dedicated to Achille Joseph Urbain. Obverse and reverse. V. Barshteyn's photo of the original.

Рис. 24. Медаль, присвячена Морісу Альфреду Фонтену. Аверс та реверс. Фото В. Барштейна з оригіналу.

Fig. 24. Medal dedicated to Maurice Alfred Fontaine. Obverse and reverse. V. Barshteyn's photo of the original.

Рис. 25. Медаль на честь Жана Дорста. Аверс та реверс. Фото В. Барштейна з оригіналу.

Fig. 25. Medal in honour of Jean Dorst. Obverse and reverse. V. Barshteyn's photo of the original.

«Achille Urbain Professeur au Museum D'Histoire Naturelle MCMLIV» (Ахілл Урбен професор Музею Природознавства 1954). В центрі реверсу, на тлі кам'янистого пейзажу — описаний Урбеном бик купрей. Під зображенням напис у два рядки: «Bos / sauveli».

Видатний французький біолог Моріс Альфред Фонтен (фр. Maurice Alfred Fontaine, 1904–2009) отримав ступінь доктора біологічних наук у 1930 р. До початку війни з Німеччиною та

після поразки Франції Фонтен працював в Сорбонні. Він спеціалізувався на вивченні гормонів та нервових імпульсів у риб. У 1943 р. він став професором Національного музею природознавства, а з 1966 по 1970 рр. був його директором. З 1955 р. Фонтен — професор Паризького океанографічного інституту, директором якого він працював з 1957 по 1968 р. та з 1975 по 1984 р. Фонтен обирався дійсним членом низки французьких академій, очолював та брав участь в міжнародних організаціях та проектах.

У 1978 р. французький скульптор Роже Барон (Roger Baron) створив настільну медаль (∅ 68 мм, бронза, ПМД), на аверсі якої — головний, профільний, повернений ліворуч портрет ученого та кружно, по краю медального поля, його титули: дійсний член Академії наук Франції та Академії медицини: «Maurice Fontaine Academie des Sciences Academie de Medecine» (рис. 24), на реверсі — цікава композиція з морського пейзажу, риб та основних наукових інтересів ученого (порівняльна фізіологія, екофізіологія, морська молізмологія), кружно по краю назви установ, з якими було пов'язане життя Фонтена (Національний музей природознавства та Паризький океанографічний інститут): «Museum National D'Histoire Naturelle Institut Oceanographique/ Physiologie/ comparee/ ecophysiologie/ molysmologie/ marine» [Barshteyn & Blume 2021].

З 1976 р. по 1985 р. Музей очолював французький орнітолог, Член Французької академії наук Жан Дорст (фр. Jean Dorst; 1924–2001). Дорст поєднав долю з музеєм у 1947 році. У 1964 році він очолив відділ «Ссавці і птахи».

Жан Дорст був один із засновників та другим президентом Фонду Чарльза Дарвіна (Charles Darwin Foundation) для Галапагосів, президентом 16 Міжнародного орнітологічного конгресу, віце-президентом комісії Міжнародного союзу охорони природи (МСОП; англ. International Union for Conservation of Nature, IUCN) — міжнародної організації, метою якої є збереження природних ресурсів [Vuilleumier 2004]. У 1985 році Дорст пішов у відставку з посади директора Музею на знак протесту проти урядових реформ музею. Дорсту присвячено французьку медаль (∅ 68 мм, бронза, скульптор — R. B. Baron, ПМД, 1980). Головний, профільний, повернений ліворуч портрет ученого розташовано в центрі аверсу (рис. 25). По краю, кружно напис: «Jean Dorst de L'Academie des Sciences Directeur du Museum D'Histoire Naturelle» (Жан Дорст Академія наук директор Музею природознавства). Реверс — зображення представників різних видів тварин у тропічному ландшафті.

Сьогодення Музею

У складі Національного музею природознавства налічується сім закладів, розташованих в Парижі (вісім закладів поза Парижем). Це Сад рослин, Велика галерея еволюції (в Саду рослин), Галерея мінералогії та геології (в Саду рослин), Палеонтологічний музей (в Саду рослин), Звіринець (в Саду рослин), Музей людини та Венсенський зоопарк.

Функцією сучасного Національного музею природознавства є викладання, дослідження та поширення природознавчих знань (науки про життя, науки про Землю, антропологія та похідні дисципліни). Як свідчить наша стаття, він є одним із найстаріших закладів такого типу у світі. Музей перебуває під подвійним адміністративним наглядом Міністерств вищої освіти, досліджень і навколишнього середовища. Після реформи 2014 року його очолює Президент, якому допомагають заступники виконавчого директора. Штат музею налічує близько 2350 співробітників, у тому числі шістсот наукових працівників. Музей входить до національної мережі природничих колекцій (RECOLNAT). Статут Музею встановлює його п'ять основних місій: збереження наукових колекцій, що включають приблизно 67 мільйонів зразків, а також живих видів у 12 місцях у Парижі та решті Франції; поширення наукової культури за спеціальностями, характерними для закладу; дослідження; освіта та наукова підготовка (магістри та доктори); наукова експертиза.

Кілька французьких медалей присвячено закладам Музею.

Територію Саду рослин, що займає 28 гектарів, можна умовно розділити на дві зони — регулярну та пейзажну. Перша включає ансамбль основних будівель і великий партер, друга — Лабіринт, Альпійський сад і Звіринець. Ботанічна школа, що працює в саду, готує ботаніків, створює демонстраційні майданчики та фонд обміну насінням, що дозволяє підтримувати біотичну різноманітність рослин. На ділянці площею один гектар висаджено близько 4500 рослин, згрупованих за належністю до певної родини. Три гектари площі саду призначені для проведення садівничих виставок декоративних рослин. В Альпійському саду, що займає територію в 4 гектари, зростають 3000 видів чагарників та трав'янистих рослин, зібраних у Піренеях, Альпах, на Кавказі, Гімалаях та Північній Америці. У чотирьох оранжереях, що відкрилися знову 2010 р. після п'ятирічної реставрації, представлено рослинність різних країн. Зимовий садок площею 750 м^2 виконаний у стилі ар деко (art déco) та представляє рослини волого-тропічних лісів та їх екосистеми. Мексиканська оранжерея демонструє адаптацію рослин до посухи та клімату пустель США, Південної Африки, Мексики. Ново-Каледонська (або Австралійська) оранжерея пропонує увазі відвідувачів п'ять різних видів рослинності: тропічні ліси, сухі ліси, саванну, чагарники та мангри. Оранжерея історії рослин знайомить із 430 мільйонами років еволюції рослин до моменту появи квітів. У 1990 р. відкрито розарій, у якому висаджено 170 видів та підвидів троянд.

Саду рослин, присвячена дуже оригінальна медаль (∅ 76 мм, бронза, ПМД), створена відомим скульптором Georges Mathieu у 1980 р. Медаль надзвичайно стилізована (що властиво для цього скульптора) та відкриває для глядача простір фантазії для трактування того, що на ній зображено. У центрі аверсу (рис. 26) — зображення, що нагадує рослину, в нижній частині — рік утворення саду — «1635». По верхньому краю — напис у два рядки: «Muséum National D'Histoire Naturelle / Jardin des Plantes medicinales» (Національний музей природознавства / Сад лікарських рослин). Зображення реверсу нагадує і лабіринт, і дерева, чагарники та квіти.

Велика галерея еволюції створена з колишньої галереї зоології, є виставковим простором, який зосереджується на еволюції видів і різноманітності живого світу та базується на сучасній сценографії природничих колекцій Музею. Представлено вимерлі види та види, які знаходяться під загрозою зникнення. Підвал призначений для тимчасових виставок.

Рис. 26. Французька медаль, присвячена Саду рослин. Аверс та реверс. Фото В. Барштейна з оригіналу.

Fig. 26. Medal dedicated to the Garden of the Plants. Obverse and reverse. V. Barshteyn's photo of the original.

Рис. 27. Медаль із зображенням Великої галереї еволюції. Аверс та реверс. Фото: https://www.delcampe.net/

Fig. 27. Medal with the image of the Great Gallery of Evolution. Obverse and reverse. Photo: https://www.delcampe.net/

Великій галереї еволюції присвячені дві туристичні сувенірні медалі. Перша випущена 2006 року (рис. 27). Аверс медалі (∅ 34 мм, «північне золото») прикрашає зображення будівлі Великій галереї еволюції. Під зображенням, кружно напис: «Muséum national d'histoire naturelle». По краю, кружно напис: «Paris Grande Galerie de L'Évolution». В центрі реверсу зображення будівлі Паризького монетного двору, під ним відповідний напис: «Monnaie de Paris». Над зображенням та під написом — п'ятикутні зірочки. По краю, кружно, знизу: «2006», та 23 п'ятикутні зірочки. Другу медаль випущено 2007 року (рис. 28). Відмінність аверсу: в центрі — зображення експозиції Великої галереї еволюції, «Параду тварин». Реверс відрізняється тільки роком випуску: «2007».

В Палеонтологічному музеї (Галереї порівняльної анатомії та палеонтології) зібрані скелети майже всіх видів хребетних, що живуть зараз на планеті. Колекція складається з близько 2500 викопних залишків, з яких 650 цілих скелетів і майже 1000 препаратів, зібраних переважно під час великих біологічних експедицій XVIII–XIX ст.

Палеонтологічному музею присвячено також дві медалі.

Його зображення — в центрі аверсу першої медалі (рис. 29). Над ним, кружно напис: «Muséum national d'histoire naturelle». По краю аверсу напис: «Paris Anatomie — Paleontologie» (Париж анатомія — палеонтологія). В центрі реверсу, в шестикутнику — зображення будівлі Паризького монетного двору, під ним відповідний напис: «Monnaie de Paris». Над зображенням та під написом, кружно по шість зірочок. Над верхніми та під нижніми зовнішніми сторонами шестикутника — написи французькою та англійською мовами: «Лімітований випуск». Праворуч та ліворуч, вертикально — дата «2005». По краю, кружно напис: «Collection Nationale médaille officielle» (Національна колекція офіційна медаль).

В центрі аверсу наступної медалі (рис. 30) зображення реконструкції черепа Алозавра, під яким напис: «*Allosaurus fragilis*». По краю аверсу , кружно напис: «Galerie de Paleontologie Muséum national d'histoire naturelle». Реверс аналогічний медалі (рис. 29).

Дві медалі виготовлені на честь Звіринця Саду рослин.

У верхній частині аверсу першої з них — зображення Ротонди, домівки для гігантських черепах, нижче — зображення представників тваринного світу (рис. 31). По краю, кружно написи, зверху: «Menangerie du Jardin des Plantes» (Звіринець Саду рослин), знизу: «Muséum

Рис. 28. Медаль із зображенням експозиції Великої галереї еволюції. Аверс та реверс.
Фото: https://www.numisaisne.fr/

Fig. 28. Medal with the image of the exhibition of the Great Gallery of Evolution. Obverse and reverse.
Photo: https://www.numisaisne.fr/

Рис. 29. Медаль із зображенням Палеонтологічному музею. Аверс та реверс. Фото: https://www.numisaisne.fr/

Fig. 29. Medal with the image of the Paleontological Museum. Obverse and reverse. Photo: https://www.numisaisne.fr/

Рис. 30. Медаль, присвячена Галереї палеонтології. Аверс та реверс. Фото: https://elyseesnumismatique.com/

Fig. 30. Medal dedicated to the Palaeontology Gallery. Obverse and reverse. Photo: https://elyseesnumismatique.com/

Рис. 31. Медаль, присвячена Звіринцю Саду рослин (1). Аверс та реверс. Фото: https://www.ebay.fr/

Fig. 31. Medal dedicated to the Menangerie du Jardin des Plantes (1). Obverse and reverse. Photo: https://www.ebay.fr/

Рис. 32. Медаль, присвячена Звіринцю Саду рослин (2). Аверс та реверс. Фото: https://www.delcampe.net/

Fig. 32. Medal dedicated to the Menangerie du Jardin des Plantes (2). Obverse and reverse.
Photo: https://www.delcampe.net/

National D'Histoire Naturelle» (Національний музей природознавства). В центрі реверсу, в шестикутнику зображення будівлі Паризького монетного двору, під ним відповідний напис: «Monnaie de Paris». Над зображенням та під написом, кружно — по шість зірочок. По краю, кружно — напис: «Collection Nationale médaille officielle» (Національна колекція офіційна медаль).

У центрі аверсу другої медалі (рис. 32) — зображення орангутана (рід *Pongo*), нижче — відповідний напис: «Orang-Outan», під яким — «Menangerie du Jardin des Plantes Paris». Реверс подібний до рис. 29, крім дати («2003»).

Нарешті, останні дві медалі присвячено Венсенському зоопарку (рис. 33). Більшу частину аверсу першої займає зображення тварин на тлі Великої скелі зоопарку. По краю аверсу, кружно напис: «Parc Zoologique de Paris Muséum National D'Histoire Naturelle». В центрі реверсу зображення будівлі Паризького монетного двору, під ним відповідний напис: «Monnaie de Paris».

Схожа композиція займає аверс другої медалі: родина жирафів на тлі Великої скелі зоопарку (рис. 34). Зверху та праворуч, кружно, по краю медалі напис: «Parc Zoologique de Paris de Paris» (Зоологічний парк Парижу). Цей же напис у три рядки повторюється знизу. Реверс повторює медаль 2016 року (рис. 14), крім зазначення самого року, який тут позначено як «2015».

Рис. 33. Медаль, присвячена Венсенському зоопарку (1). Аверс та реверс. Фото: https://fr.numista.com/

Fig. 33. Medal dedicated to the Paris Zoological Park (1). Obverse and reverse. Photo: https://fr.numista.com/

Рис. 34. Медаль, присвячена Венсенському зоопарку (2). Аверс та реверс. Фото: https://fr.numista.com/

Fig. 34. Medal dedicated to the Paris Zoological Park (2). Obverse and reverse. Photo: https://fr.numista.com/

Висновки

В статті коротко висвітлено сторінки історії Національного музею природознавства (Париж, Франція), внесок у його розбудову ряду керівників та співробітників Саду рослин та Музею. Присвячені цим відомим ученим настільні медалі, були досліджені та описані авторами статті. Результати аналізу медалей дозволили відобразити у новій площині найбільш яскраві сторінки історії Музею, біографії видатних особистостей, які працювали в ньому. Отримані відомості підтвердили можливість використання об'єктів, які вивчаються спеціальними історичними дисциплінами (в даному випадку — розділом нумізматики, медальєрним мистецтвом) для дослідження історії наук.

Подяки

Жодних конфліктів інтересів автори не мають — стаття є результатом власних розвідок авторів, виконаних поза плановими темами установ або грантами.

References

Ambrose, C. T. 2009. Georges-Louis Leclerc, compte de Buffon (1701–1788): The French Rival of Linnaeus. *Transylvania Treasures*, **2** (2): 1–3. https://uknowledge.uky.edu/microbio_facpub/55

Andreychyn, M. A., V. Y. Barstein. 2022. The history of the fight against cholera in table medals. *Infektsiyni khvoroby (Infectious diseases),* **2**: 22–31. [In Ukrainian]

Barshteyn, V. Y. 2011. Animals Systematics Reform in the first half of the XIX century. *Scientific Bulletin* of *Lesya Ukrainka Volyn National University*, **19**: 62–68. [In Ukrainian]

Barshteyn, Yu. A., & Barshteyn, V. Yu. 2003. *Medicine in Medal Art.* Ukrmedknyha, Ternopil, 1–352. [In Ukrainian].

Barshteyn, V. Y., Y. B. Blume. 2021. Pages of the history of marine biology and ecology in medallic art. *Ecological Sciences*, 4 (37): 75–84. [In Ukrainian]. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.4-37.11

Blume, Y. B., V. Y. Barshteyn. 2016. Past and present of the Royal Botanic Gardens, Kew, in artefacts. *Ukrainian Botanical Journal*, **73** (6): 612–620. [In Ukrainian]

Borrel, T. 2014. *Achille Urbain (1884–1957), de la gloire à l'oubli : un vétérinaire pasteurien au Muséum national d'Histoire naturelle. Education*. Université Claude Bernard — Lyon I. Français. https://theses.hal.science/tel-01129030/file/2014LYO10147.pdf

Caen, J., G. Pidard. 1996. Guy-Crescent Fagon (1638-1718), physician to the Sun King. *Histoire des Sciences Medicales,* **30** (3): 359–362.
Daston, L. 2015. At the Center and the Periphery: Joseph Pitton de Tournefort Botanizes in Crete. In: Arabatzis, T., Renn, J., Simões, A. (eds.) *Relocating the History of Science. Boston Studies in the Philosophy and History of Science*, **312**: 85–98. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14553-2_7
Ford, R. 2009. Reading Bernardin de Saint-Pierre: Letters and the Book of Nature. *Nottingham French Studies*, 48(3): 113–124.
Freeman, S. E. 1964. *Medals relating to medicine and allied sciences in the numismatic collection of the Johns Hopkins University. A Catalogue*. The Evergreen House Foundation, Baltimore, 1–430.
Howard, R. C. 1981. Guy de la Brosse and the Jardin des Plantes in Paris. *The Analytic Spirit: Essays in the History of Science*, 195-224.
Loveland, J. 2006. Another Daubenton, Another Histoire naturelle. *J. Hist. Biol.,* 39: 457–491. https://doi.org/10.1007/s10739-005-6533-6
Liste des directeurs du Muséum national d'histoire naturelle. https://bit.ly/41mhtpv
Sammlung, Dr. Josef Brettauer. 1989. *Medicina in Nummis.* Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, 1–400.
Shamey, R. 2020. Chevreul, Michel-Eugène 1786–1889. *In: Pioneers of Color Science*. Springer, Cham, 153–158. https://doi.org/10.1007/978-3-319-30811-1_33
Stolyarik, E. 2012. *Numismatic Commemorations of Vaccination Research.* Retrieved from: https://numismatics.org/pocketchange/vaccination/
Vuilleumier, F. 2004. In Memoriam: Jean Dorst, 1924–2001. *The Auk*, **121** (4): 1289–1290. https://doi.org/10.1093/auk/121.4.1289

GEO&BIO

2023 • vol. 24, pp 25–45
https://doi.org/10.53452/gb2404

Mykola Diukov, a zoologist and collector, researcher of the fauna of Slobozhanshchyna and Dagestan

Igor Zagorodniuk

National Museum of Natural History, NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

article info

key words
zoological collections, natural history museums, research history, Mykola Diukov

correspondence to
Igor Zagorodniuk; National Museum of Natural History, NAS of Ukraine; 15 Bohdan Khmelnytsky Street, Kyiv, 01030 Ukraine;
Email: zoozag@ukr.net;
orcid: 0000-0002-0523-133X

article history
Submitted: 25.03.2023. Revised: 04.06.2023. Accepted: 30.06.2023

cite as
Zagorodniuk, I. 2023. Mykola Diukov, a zoologist and collector, researcher of the fauna of Slobozhanshchyna and Dagestan. *GEO&BIO*, **24**: 25–45. [In Ukrainian, with English summary]

abstract

Mykola Diukov was a zoologist whose professional achievements are related to the study and monitoring of populations of game mammals and birds, as well as agricultural pests including rodents and insects (especially locusts). Mykola Diukov was born in Kharkiv in 1896, and the first now known event from his life is connected with Lithuania (then part of Poland) in 1913, where he collected and prepared a museum specimen of the mountain hare (Lepus timidus). The researcher worked in Kharkiv (known dates 1921–1923), later in Makhachkala (1924–1931), after which he served in exile in Kazakhstan (1932–1936). In Kharkiv, his research was related to the central (Kharkiv) branch of the Ukrainian Association of Hunters and Fishermen (All-Ukrainian Society of Hunters and Fishermen), one of his first works was devoted to assessing the state of wolf populations based on a wide survey of hunting centres conducted. In different periods of his work, the researcher showed interest not only in studying species, but also in creating collections, engaged in taxidermy and neatly made out label data. In total, 23 specimens of mammals (bats, mustelids, and rodents) collected and prepared by Mykola Diukov were found in the collections of the National Museum of Natural History, NAS of Ukraine and the Museum of Nature of V. Karazin Kharkiv University, but this number may be at least twice as high if we take into account that some of the materials were signed with the names of his colleagues or were not signed, but were made by his hand. In addition to the main series, a series of mammal specimens from Dagestan, collected by Diukov or with Diukov's participation, was discovered in the collection of the Department of Zoology of the National Museum of Natural History, NAS of Ukraine, including those of *Spermophilus musicus, Mesocricetus raddei, Pygeretmus pumilio, Mus musculus, Mustela eversmanni, Mustela nivalis*, and *Barbastella leucomelas*. In total, 58 specimens of 18 species, belonging to 11 families and 5 orders, are present in the studied collections that are part of Mykola Diukov's materials (or clearly related to him). The researcher worked with such famous researchers as V. Averin, O. Formozov, V. Heptner, O. Mygulin, and others. There is no information about the life (and death) of the researcher after 1936. The author assumes that M. Diukov was oppressed because of his (probably noble) past and, after five years of imprisonment in concentration camps, received a death sentence against the background of widespread repressions in 1937.

© 2023 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.

Микола Дюков як зоолог та колектор, дослідник фауни Слобожанщини і Дагестану

Ігор Загороднюк

Резюме. Микола Дюков — зоолог, професійні здобутки якого пов'язані з вивченням і моніторингом популяцій мисливських звірів і птахів та шкодочинної для сільського господарства фауни, включно з гризунами й комахами (надто сараною). Микола Дюков народився в Харкові 1896 року, а перша відома тепер подія з його житті пов'язана з Литвою (тоді у складі Польщі) 1913 року, де ним було здобуто і музеєфіковано зразок зайця білого (*Lepus timidus*). Дослідник працював у Харкові (відомі дати 1921–1923), згодом у Махачкалі (1924–1931), після того він відбував заслання у Казахстані (1932–1936). У Харкові його дослідження були пов'язані з центральним (харківським) осередком ВУСМР (Всеукраїнського товариства мисливців і рибалок), одна з його перших праць була присвячена оцінкам стану популяцій вовка на підставі проведеного ним широкого анкетування мисливських осередків. У різні періоди своєї роботи дослідник проявляв інтерес не тільки до вивчення видів, але й створення колекцій, займався таксидермією та охайно оформляв етикеткові дані. У трьох досліджених колекціях (в Національному науково-природничому музеї України та Музеї природи Харківського університету імені В. Каразіна) виявлено 23 зразки ссавців (кажани, мустели, гризуни), зібраних і опрацьованих Миколою Дюковим, проте ця цифра має бути більшою удвічі, якщо врахувати, що частину матеріалів підписано іменами його колег або не підписано, проте етикетки зроблені його рукою. У доповнення до основної серії, в колекції відділу зоології ННПМ виявлено серію теріологічних зразків з Дагестану, зібраних Дюковим або за участі Дюкова, у т. ч. *Spermophilus musicus*, *Mesocricetus raddei*, *Pygeretmus pumilio*, *Mus musculus*, *Mustela eversmanni*, *Mustela nivalis*, *Barbastella leucomelas*. Загалом у досліджених колекціях матеріали Миколи Дюкова (або явно пов'язані з ним) представлені 58 екз. 18 видів 11 родин 5 рядів. Дослідник працював у контакті з такими відомими зоологами, як В. Аверін, О. Мигулін, О. Формозов, В. Гептнер та інші. Жодних відомостей про життя (і смерть) дослідника після 1936 р. немає. Автор припускає, що М. Дюков зазнав утисків через своє минуле (ймовірно дворянське) і після відбуття 5 років концтаборів отримав смертний вирок на тлі повсюдних репресій 1937 року.

Ключові слова: зоологічні колекції, природничі музеї, історія досліджень, Микола Дюков.

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

до 100-річчя наукової роботи Миколи Дюкова

Одним із важливих напрямків вивчення природничих колекцій є реконструкція внесків окремих колекторів та музеологів, завдяки зусиллям яких формувалися колекції. Такі знання є ключем до реідентифікації зразків з неповними, втраченими або й зміненими вихідними даними, а також вивчення історії досліджень — як наукових напрямків, так і науковців та установ [Rozora *et al.* 2014; Zagorodniuk 2015; Cheremnykh 2017]. Подібні розвідки не раз виявлялися ефективними, як от стосовно Всеволода Великанова [Zagorodniuk 2013a], Анатолія Аргіропула та Бориса Попова [Zagorodniuk 2013b], Бориса Вальха [Zagorodniuk & Parkhomenko 2018], низки інших відомих та маловідомих дослідників [Zagorodniuk 2022].

Ця розвідка присвячена Миколі Дюкову (1896–1937?) — досліднику, який брав найактивнішу участь у розвитку зоологічних досліджень та мисливствознавства на Харківщині, згодом — у Дагестані, де став учасником низки відомих Дагестанських зоологічних експедицій, за підсумками однієї з яких було описано новий таксон ссавців, названий на його честь, але вже 1931 року його засуджено на 5 років концтаборів, а після 1936 р. жодних відомостей про нього не виявлено. Єдиний знайдений документ — постанова Прокуратури Дагестану 1989 р. про реабілітацію жертв комуністичних репресій.

Початок цієї розвідки пов'язаний із виявленням серії колекційних зразків ссавців, що зберігаються в ННПМ, датованих 1913–1927 роками і підписаних іменем «Дюков» [Zagorodniuk & Ulyura 2023]. Надалі у трьох різних зоологічних зібраннях виявлено колекційні зразки,

зібрані М. Дюковим, аналіз яких проливає світло на історію досліджень та на біографію науковця. Частину цих матеріалів з колекції відділу зоології ННПМ[1] (без історичних розвідок) описано окремою працею [Zagorodniuk & Ulyura 2023]. Тут наведено результати розвідок на основі трьох колекцій та аналізу зразків, які також могли були зібрані М. Дюковим, проте не мають відповідних записів у каталогах колекцій (за каталогами: [Shevchenko & Zolotukhina 2002, 2005; Shevchenko 2007]).

Подальші розвідки дали змогу віднайти та реконструювати важливі деталі з наукової біографії дослідника і по крихтам відтворити життєпис, включно з реконструкцією місць і напрямків його наукової роботи, аналізом зібраних ним колекцій та його публікацій, колом спілкування. Звісно, це лише перший крок у відновленні цієї історії.

Біографічні розвідки

Загальні відомості

Дюков Микола Миколайович — зоолог, на початках теріолог, згодом орнітолог та ентомолог, народився у Харкові 1896 року. Дослідник розпочав свою наукову активність 1913 року (найдавніший відомий колекційних зразок, зібраний ним), а першу відому на сьогодні наукову публікацію видав 1923 року, рівно 100 років тому. Дослідник залишив помітний слід у становленні мисливствознавства в Україні (зокрема Всеукраїнської спілки мисливців та рибалок, ВУСМР) та системи захисту рослин в Дагестані. Репресований 1931 р., реабілітований 1989 р. Останній відомий «слід» датований 1936 роком (публікація статті), тобто він зник (загинув) у віці бл. 40–41 років; найімовірніше його розстріляно більшовиками 1937 року (автор припускає, що за його дворянське походження).

Ключові біографічні деталі

Повне ім'я й по-батькові відновлені за сервісом «books. google», що містить видання «Zashchita rasteniĭ ot vrediteleĭ, Leningrad, 1924–1929, t. 6» з реєстром установ захисту рослин, в якому на с. 86 знаходимо: «*3. Дагестанская Республика. Подотдел Защиты Растений от Вредителей при Управлении Сельского Хозяйства Наркомзема. Махач-Кала (Петровск.-Пост), Наркомзем. Зав. Дюков, Николай Николаевич*». З цього однозначно слідує, що Микола Дюков працював у Дагестані в системі захисту рослин. У статті про хом'яка Радде [Diukov 1927], вміщеному в «Дагестанському збірнику» (том 3), дослідник підписався як «Энтомолог НКЗ ДССР Н. Н. Дюков» [НКЗ ДССР — Народний Комісаріат Землеробства Дагестанської РСР].

Найдавніші за хронологією відомі вказівки стосуються здобування Дюковим зайця білого (*Lepus timidus*) в Литві у січні 1913 року (перший запис в табл. 1: «Сувальська губ., Маріямпольський повіт, с. Дембова-Буда»). Цей факт може бути пов'язаний з освітою дослідника. Так, у харківських матеріалах щодо випускників ІХУ (доступні дані за 1902–1917 рр., на які і міг припасти період навчання М. Дюкова) згадок студента з прізвищем «Дюков» не знайдено. Очевидно, здобутий ним зразок зайця може бути підказкою про те, що вчився він не у Харкові, а в Литві (тогочасній Польщі)[2]. Заєць здобутий 17-річним юнаком біля м. Шяуляй, у центрі Литви. Маємо припустити, що полювання не міг дозволити собі простий гімназист, тому подальший пошук стосувався дворянства.

У книзі С. Волкова «Вище чиновництва Російської імперії» [Volkov 2016] є лише два Дюкови, і з них лише один — Микола, проте його вік, рід занять і регіон цілком підходять для припущення, що він міг бути батьком нашого героя:

[1] Тут і далі ННПМ — Національний науково-природничий музей НАН України (Київ) [для зоологічного і палеонтологічного відділів також використано акроніми NMNHU-z та NMNHU-p], ДПМ — Державний природознавчий музей НАН України (Львів), МПХУ — Музей природи Харківського університету (Харків).

[2] Подібний факт з місцем народження і шкільними роками у Польщі був неочікувано з'ясований для іншого знаного зоолога того часу — Всеволода Великанова [Zagorodniuk 2013a].

Дюков Николай Михайлович, р. 1859, из духовенства, в сл[ужбе]. и класс[ном]. чине с 1882 ([полученное образование:] СПбУ [Санкт-Петербургский университет]), ДСС [действительный статский советник] с 1909. Дир[ектор]. 1-й Санкт-Петербургской гимн[азии]. Ум[ер]. после 1917. (1.3.1916 [дата последнего упоминания в "списках по старшинству"]).

Ця гіпотеза припускає, що наш герой може бути сином Миколи Дюкова-педагога, 1859 р. н., дійсного статського радника з 1909 р. і директора «Першої» (за іншими джерелами — Другої) чоловічої Санкт-Петербурзької гімназії (у період 01.08.1906–1917 р.). Якщо це так, то Дюков-молодший найімовірніше мав би закінчив ту саму гімназію[3].

Альтернативна гіпотеза пов'язана з харківськими Дюковими-антрепренерами [див. Cherniaev 1900; Eremeyeva 2013], у т.ч. Миколою Дюковим (1820–1882), уродженцем Полтавщини, а згодом його дочкою Олександрою Дюковою, яка керувала театром у 1895 року. Можна припустити, що приблизно тоді ж у Дюкових могла народитися дитина, син, якого могли за традицією назвати ім'ям діда — Миколою[4].

Друга гіпотеза збігається з відомостями про Дюкова-зоолога в книзі пам'яті Дагестану, де він записаний як уродженець Харкова 1896 р.н. Окрім того, в реєстрі студентів Харківського університету (доступні дані за період 1902–1917 рр.) виявлено запис «Дюков Николай. Ф. 1.» у переліку за 1916–1917 навчальний рік [Alphabetic... 1917]. Позначення «Ф. 1.» маємо розуміти як «Фізико-математичний факультет, курс 1», тобто М. Дюков мав навчатися там протягом 1916–1920 рр. З цього цілком зрозумілі й дати його зоологічних колекцій «харківського» періоду — 1921–1923 рр. (див. далі).

Наступні після збору литовського зразка відомості про дослідника мали місце через вісім років — в ННПМ-z є три колекційні зразки *Mus musculus*, записані як здобуті М. Дюковим у березні 1921 р. в околицях Сімферополя. Наступна відома точка активності — Харків, звідки відомо чимало колекційних зразків ссавців, зібраних у 1921–1923 роках (крайні дати — 12.07.1921 та 7.05.1923). У цей же час дослідник, найімовірніше, був у дальніх експедиціях, що можуть підтвердили записи про колекційні зразки, здобуті ним в Асканії (2.08.1923) та в Приазов'ї (13.09.1925 [проте зразки й етикетки не виявлено]). Про асканійські і приазовські (запорізькі) «гіпотези», загалом сумнівні, див. далі.

Подальші життя й робота дослідника проходили в Дагестані, крайні дати за колекціями — 25.08.1924 та 10.10.1927, за публікаціями — 1927–1930 роки. Тут він працював у Махачкалі, в системі захисту рослин, на посаді ентомолога Наркомзему Дагестанської РСР та завідувачем Підвідділу захисту рослин від шкідників при Управлінні сільського господарства НКЗ ДРСР. Його арештовано 5.04.1931, засуджено 14.12.1931 з вироком про 5 років концтаборів. Оскільки 1936 р. у нього вийшла стаття про сарану Казахстану, ясно, що табір був в Казахстані, майже напевно з правом роботи в таборі за фахом, і він відбув повний термін (1931–1936). Подальша доля невідома.

Робота в Харкові, мисливство

За авторськими розрахунками (див. вище), М. Дюков закінчив університетське навчання 1920 року і очевидно одразу став до роботи в умовах виру подій 1921 року, які стосувалися кожного (фінал Української революції, створення ВУАН, створення ВУСМР тощо). Після навчання (ймовірно, одразу після) він працював у керівних органах цього товариства, що випливає зі статті 1923 року про вовків Харківщини [Diukov 1923]. У цій праці М. Дюков наводить результати анкетування мисливських осередків щодо вовків, яке напевно сам і проводив

[3] Ця гіпотеза має дві вади: 1) стосовно Дюкова-педагога відомо тільки про його сина Юрія (хоча ясно, що син міг бути не один), 2) у документах про репресії (див. далі) вказано, що Дюков-зоолог — уродженець Харкова; проте плюсом гіпотези є дворянський чин Дюкова-педагога і те, що наш герой однозначно мав високе виховання й освіту (найімовірніше був засуджений за дворянське походження).

[4] По суті це вже був третій Микола Миколайович. Другий, відомий у театральній літературі як Микола Миколайович Дюков-молодший, допомагав батькові по театру, але потім (очевидно, до смерті батька, тобто до 1882 р.) неочікувано все кинув [Eremeyeva 2013].

протягом 1922–1923 років, з розсилкою анкет по всіх районах Харківщини й аналізом ситуації, а також аналізом результативності анкет.

Значущим фактом є те, що у 1921 році (10.07.21) Віктор Аверін став організатором установчого з'їзду і першим головою ВУСМР (Всеукраїнської спілки мисливців та рибалок, нині УТМР). За час його головування (1921–1924) й за його ініціативи при Центральній раді ВУСМР відкрито курси мисливствознавства; він став організатором і редактором видань «Охота и рыболовство» (1923), «Природа и охота на Украине» (1924), «Украинский охотник и рыболов» (1925–1926), «Український мисливець та рибалка» (1927–1932) [Golda 2006; Zagorodniuk 2023]. Широке порайонне анкетування мисливців щодо стану популяцій вовків, представлене у згаданій публікації М. Дюкова [Diukov 1923], очевидно, було однією з важливих активностей ВУСМР [5].

Очевидно, що робота Дюкова в ВУСМР не була можливою без співпраці з Аверіним. Проте, окрім очевидності такого припущення через спільну для них афіліацію з ВУСМР, є й інші свідчення. Зокрема, є пряма вказівка на одній з етикеток до колекційного зразка тхора степового з Асканії-Нової, де вказано «от Вс. Аверина». У цьому випадку Дюков виконав роль досвідченого таксидерміста. Окрім того, очевидно були й спільні полювання. Так, у колекції ННПМ-р є зібраний Дюковим зразок кажана *Vespertilio murinus* у місцезнаходженні «хут. Соколів» (recte Соколи), 12.07.21 (№ 2057). У тому самому пункті, як слідує з «рожевих» журналів, до колекції ННПМ (тоді ЗМ Зообін) надійшли зразки різних видів (найбільше зайців), здобутих Аверіним, Дияковим, Шубіним тощо, зокрема в дати 20.09.17, 20.12.17 та інші.

Невдовзі, 1922 року вийшла з друку книга «Охота на Кавказе» [Tolstoy 1922], яка, як можна припустити, мала захопити М. Дюкова, мисливця за духом і за роботою в ВУСМР. Книга містить нариси про полювання на Кавказі, переважно в Дагестані, де дуже скоро і з'явився (однозначно наш) М. Дюков, який продовжив цю тему низкою нових публікацій про мисливських звірів і птахів Дагестані та полювання на них.

Дагестанський період

Мотиви переїзду Дюкова до Дагестану не відомі. У автора є три гіпотези: 1) втеча від минулого, зокрема дворянського походження (так, до речі, вчинили інші відомі українські зоологи, як от Вальх, Оболенський, Великанів); 2) участь у роботі Дагестанських експедицій (там з харків'ян був і Мигулін, були й столичні Гептнер та Формозов, з якими Дюков поза сумнівом співпрацював), 3) пристрасть до мандрів і полювань (див. попередній абзац), і цей фактор міг були не менш важливим у комбінації з іншими.

У той період були започатковані (у 1918–1922 рр.) й надалі активно розвивалися Дагестанські експедиції і загалом дослідження природних ресурсів Північного Кавказу, про які є чимало публікацій [Boehme 1927, 1928 та ін.]. Це супроводжували й інституційні розбудови на місцях, серед них — створення в Дагестані республіканського Наркомзему, Дагестанського НДІ та Дагмузею, що створювало важливий професійний простір, в який вдало (і навіть чудово) вписувався і М. Дюков.

Дагестанські експедиції стали постійними з 1924 р. Йшла інвентаризація фауни, розроблялися підходи до моніторингу фауни та обмеження чисельності шкодочинних тварин. В ці дослідження було залучено багато знаних зоологів з різних наукових центрів (Сергій Огньов, Олександр Формозов, Лев Бьоме, Віктор Гептнер, Олексій Мигулін, Павло Свириденко, Євген Звірозомб-Зубовський). Була робота, пов'язана з моніторингом фауни та відповідними тереновими дослідженнями й можливостями для полювання. Власне, в серпні 1924 р. і стався переїзд до Дагестану: за хронологіями колекційних зборів видно, що останні зразки в Україні зібрано 2.08.24 (тхір степовий з Асканії-Нової), а перші дагестанські — 25.08.1924 (ласиця з Кизлярської округи).

[5] Харківський обласний осередок виник 1917 р. як «Харківське губернське товариство любителів гвинтівкового полювання та полювання зі псами», його керівником був В. Аверін.

Судячи з аналізу колекцій (див. далі), у Дагестані М. Дюков не просто жив і працював, але й активно взаємодіяв із дальніми колегами — харківськими, московськими та ростовськими теріологами й ентомологами, а також із місцевими ентомологами, збирав колекції, писав статті. Це був період його злету як зоолога й краєзнавця.

У Дагестані М. Дюков приділяв чимало часу не тільки ссавцям чи ентомофауні, але й птахам. У цей період у нього вийшло 4 публікації про птахів у журналі «Охотник» (1926–1930). Одна з них, найцитованіша, присвячена султанці. Щодо цього птаха є окремий біографічний епізод, наведений у розділі «Коло спілкувань» (контакти з О. Формозовим). Додатковим джерелом про дослідника й теріологічні дослідження того часу в Дагестані є праця В. Гептнера й О. Формозова «Ссавці Дагестану» [Heptner & Formosov 1941], в якій автори наводять опис досліджень із зазначенням маршрутів і колекторів (М. Формозов, особ. повід.). Серед останніх був і М. Дюков, з яким О. Формозов зустрічався й раніше (див. вище історію про султанку) і на честь якого С. Огньов і О. Формозов назвали описаний ними у 1927 р. дагестанський підвид щура водяного (див. далі).

Доробки, публікації

Фахові зусилля. Основні фахові зусилля дослідника були спрямовані на прикладну зоологію — мисливствознавство (харківський період) та захист рослин (дагестанський та ймовірний казахстанський періоди). Відповідно, роботу дослідник мав в системі ВУСМР та в системі захисту рослин. Можливо, що в «харківський» період паралельно з мисливськими інтересами він працював і в системі захисту рослин, про що свідчать відомі колекційні зразки гризунів і дрібних хижих, явно не мисливських звірів: мишей, хом'ячків, тхорів (табл. 1). Але в Дагестані (Махачкала) та в Казахстані (можливо, Алмати?) він напевно працював, судячи з публікацій і вказання афіліації, як-от у статті про хом'яка Радде (1927 р.), в якій дослідник підписався як «Энтомолог НКЗ ДССР Н. Н. Дюков».

Наукові праці. Відомо 11 його наукових праць, у т.ч. чотири теріологічні — про вовків на Харківщині (1923), про звірів кавказького краю — хом'яка Радде в Дагестані (1937), про полювання на тура (1930) та про джейрана (1930). Орнітологічна та ентомологічні праці датовані пізнішим часом (1926, 1928, 1929, 1930, 1936 рр.). Публікація 1930 р. в УМР (журнал «Український мисливець та рибалка», що виходив за редакцією В. Аверіна), попри тогочасну роботу М. Дюкова у Дагестані, свідчить, що дослідник ці 6 років (з 1924 р.) не поривав зв'язки з Україною, власне з Харковом, де тоді виходило це видання.

Перелік відомих праць дослідника представлено тут за темами, у хронології:

Теріологічні праці (1923–1930)

1923. Волки в Харьковской губ. [Diukov 1923]
1927. Черноватый дагестанский хомяк [Diukov 1927]
1930. Тур и охота на него [Diukov 1930a]
1930. Джейран [Diukov 1930b]

Орнітологічні праці (1926–1930)

1926. К биологии султанской курицы [Diukov 1926]
1928. К познанию распространения стерха [Diukov 1928]
1929. К познанию распространения чернобрюхого рябка [Diukov 1929a]
1930. Фазан в Дагестанской ССР [Diukov 1930c]

Ентомологічні праці (1929–1936)

1929. К познанию распространения *Oxya fuscovittata* ... [Diukov 1929b]
1930. Осеннее отрождение азиатской саранчи в Дагестане в 1927 г. (Frantsi & Diukov 1930]
1936. Главнейшие вредные саранчовые Казахстана ... [Diukov 1936]

Теріологічні колекції

Загальна характеристика колекцій

Більшість виявлених колекційних зразків зберігаються у відділі зоології ННПМ (23 екз.), по 1–2 екз. — у ННПМ-p (табл. 1) та в МПХУ. Їх крайні дати — 1913–1927. Окрім того, в ННПМ-z є зразки, що мають пряме відношення до М. Дюкова, зібрані ним або за його участі, але в базі даних і каталогах не позначені як такі (табл. 2). Матеріали дослідника є й у інших колекціях. Зокрема, зразки дагестанських *Arvicola* (*Arvicola terrestris djukovi*) зберігаються в типових серіях ЗММУ [Ognev & Formosov 1927; Ognev 1950].

У колекції відділу зоології ННПМ (ННПМ-z) згідно з базою даних і опублікованими каталогами є 22 зразки ссавців, зібрані М. Дюковим (табл. 1). Відомі зразки зібрані у Литві (1913 рік), у Криму (1921 рік), на Харківщині (1921, 1923 рр.), у Дагестані (1924, 1926, 1927 рр.). Матеріал розміщено в таблиці 1 у хронологічному порядку. Всі зразки, окрім 4-х *Mus musculus* (три з Сімферополя та один із Харкова), мають оригінальні авторські етикетки з пізнаваним почерком. Кількість зразків росла у часі: литовський період — 1, кримський — 3, харківський — 7, дагестанський — 15 (без даних, наведених в табл. 2). З набору об'єктів колекціонування видно, що дослідник у своїх інтересах тяжів до мустелових (Mustelidae), при тому в усі періоди досліджень, разом є 5 екз. *M. eversmanni* та 1 екз. *V. peregusna*, а з урахуванням інших явно «дотичних» матеріалів (табл. 2), — 8 зразків трьох видів. Ім'я Дюкова як колектора мустел відмічено й раніше [Filipenko 2014].

Зразки в колекції ННПМ-z

Загалом у колекції ННПМ-z відомо 23 зразки, що зібрані М. Дюковим, з крайніми датами (роками) 1913–1927. У таблиці наведено уточнені дані та подано стислі коментарі там, де уточнення можна було відкоментувати стисло, у примітках. Проблемні в інтерпретації матеріали описано в цьому розділі нижче.

Про найдавніший зразок (з Литви). У каталозі зразок із Литви — це заєць білий (*Lepus timidus*), зібраний 4.01.1913 (№ 402) у м. «Маріямполе», що на пд-зх Литви. Локалітет має назву «д. Дембова-Буда», це село у складі Гудельської гмини Сувальської губернії (центр Сувалки). Села такого тепер не існує, а центр Гудельської гмини — с. Гуделе (Гуделяй, Gudeliai) біля м. Шяуляй (Šiauliai). Як міг опинитися там дослідник — не ясно; йому було 17 років, і, можливо, він там навчався. Сам зразок, насамперед його оригінальну етикетку, автор не мав можливості перевірити.

Про ім'я Дюкова на вторинних етикетках. Дослідження колекційних зразків засвідчує регулярні таксидермічні практики дослідника і те, що він постійно опікувався колекціями (проте якими — не ясно). Як приклад, на рис. 1 показано первинну і вторинну етикетку соні лісової (22.03.1921), друга написана М. Дюковим. Це відповідає давній традиції не чіпати оригінали, а за потреби щось уточнити додавати нову етикетку. Імовірно, така сама історія сталася і з цією сонею лісовою з уроч. «Помірки» під Харковом. Дюков, очевидно як консерватор колекції, виправив на новій етикетці назву роду й ім'я автора виду, а також уточнив, що мова має йти про околицю Харкова (рис. 1).

Про зразки з Криму 1921 р. — у зв'язку з відсутністю оригінальних етикеток (фото на рис. 2) щодо цих зразків є питання, зокрема чи бути вони кримськими і дюківськими. У ННПМ є декілька зразків, датованих березнем 1921 р.: у ті самі дати збирали матеріал Звірозомб на Ростовщині та Мигулін на Харківщині, при тому обидва мали інтерес до мишовидих, що важко припустити для Дюкова, тому можлива помилка. Проте, приймаючи це як факт, важливо звернути увагу, що всі ці зразки — хатні миші. Як припущення можна згадати, що в ті роки таврійський музей було розформовано, і значна частина його колекцій була вивезена до найближчих зоологічних «столиць» (можливо й до Харкова), і врешті їх частина опинилася і в ННПМ (див.: [Zagorodniuk *et al.* 2015]). Тому не можна виключати, що це матеріали звідти.

Таблиця 1. **Зразки ссавців, зібрані й препаровані М. Дюковим, у колекціях природничих музеїв Києва і Харкова (записи розміщено у хронологічному порядку; за: [Zagorodniuk & Ulyura 2023], з доповненнями)**

Table 1. **Mammal specimens collected and prepared by M. Diukov in the collections of natural history museums of Kyiv and Kharkiv (records are placed in chronological order; after: [Zagorodniuk & Ulyura 2023], with additions)**

ID та матеріал*1	Вид	Місце збору	Дата збору
1. Литовський період (n = 1)			
ННПМz 402 ш	*Lepus timidus*	[Литва,] Сувальська губ., Маріямпольський пов., с. Дембова-Буда [в журналі реєстрацій] (у каталозі — «Литва, окол. м. Капсукас»)	4.01.13
2. Кримський період (n = 3)			
ННПМz 1106 ш	*Mus musculus*	UA, Крим, м. Сімферополь*2	1.03.21
ННПМz 1105, 1029 ш	*Mus musculus*	UA, Крим, м. Сімферополь*2	2(15).03.21
3. Харківський період (n = 8)			
ННПМ-z, № 619	*Dryomys nitedula*	UA, Харківський р-н, уроч. Помірки	28.03.1921
ННПМр 2057 (у рожевому журналі 2103) ч	*Vespertilio murinus*	UA, Чугуївський [Зміївський] р-н, с. Соколове [хут. Соколів]*3	12(27).06.21 («27.06.26»)
ННПМz 1076/246 ш	*Mus musculus*	UA, Харк. обл., м. Харків	13(26).10.21
МПХУ [без №] ш	*Nyctalus noctula*	UA, Харк. обл., Харк. р-н, с. Липовий Гай	28(15).05.22
ННПМz 15780, 15781 ч	*Cricetulus migratorius*	UA, Харк. обл., Ізюмський р-н, с. Комарівка («с. Кайгородка»)	7.05(24.04).23 («7.05.29»)
ННПМz 9401 ш(ч)	*Mustela eversmanni*	UA, Харк. обл., Ізюмський р-н, с. Комарівка	19 (7).05.23 («4–7.05.23»)
ННПМz 9402 ш(ч)	*Mustela eversmanni*	UA, Херсонська обл., Чаплинський р-н, Асканія-Нова, «от Вс. Аверина»	2.08.23
4. Дагестанський період (n = 11)			
ННПМz 9897 (520) шч	*Arvicola terrestris*	Даг., Агульський р-н, с. Чираг*4	17.10.24
ННПМz 10712 ш	*Lepus europaeus*	Даг., Ногайський степ, ур. Шамшей-Кишлау	19.04.26
ННПМz 9399 ш	*Mustela eversmanni*	Даг., р-н м. Махач-Кала, с. Тарки-Ногай	3.10.26
ННПМz 9333 ш	*Allactaga major*	Даг., Ногайський степ	07.10.26
ННПМz 14915, 14916 (ч)*6	*Spalax giganteus*	Даг., Кизлярський р-н, Кара-Ногайский степ	10.27
ННПМz 9448 (517) ш(ч)	*Spalax giganteus*	Даг., Кизлярський окр., ст. Сасотчинская*7	12.04.27
ННПМz 10711 ш	*Lepus europaeus*	Даг., Ногайський степ, окол. оз. Лопас	20.04.27
ННПМz 12370 ш	*Vormela peregusna*	Даг., окол. ст. Копай	07.27
ННПМz 9305 шч	*Hemiechinus auritus*	Даг., Кизлярський р-н, окол. м. Кизляр	10.08.27
ННПМz 11628 ч	*Mustela eversmanni*	Даг., Ногайський р-н*5, Кара-Ногайський степ	10.10.27

*1 Для всіх зразків літерами позначено наявність шкірок (ш) та черепів (ч), якщо «ч» у дужках, що наявність, зазначена в БД та в каталозі, не підтверджена при аналізі самої колекції; *2 Для всіх *Mus musculus* в каталозі вказано «окол. м. Сімферополь»), етикетки не оригінальні, написані С. Золотухіною (бл. 2000 р., джерело інформації не відоме; у давніх «рожевих» журналах такого не знайдено); *3 хут. Соколів — особливий для тогочасних харківських зоологів локалітет, з якого походить багато різних зразків; *4 для *Arvicola terrestris* № 9897 в оригіналі вказано «Лакський окр., Аштикулинська діл., с. Чирах»; *5 для *Mustela eversmanni* № 11628 в ДБ і в каталозі вказано «Запорізька обл., Приазовський р-н»; на етикетці — «Кизлярський р-н»; дата в БД та каталозі як «13.09.25» (як для № 11627); *6 зразки *Spalax giganteus* № 14915 та 14916 у БД та в каталозі [Shevchenko & Zolotukhiva 2005] позначені як наявні, проте їх не виявлено; запис збережено в таблиці з надією, що їх виявлять; *7 в БД та каталозі (loc. cit.) вказано, що є череп (проте є тільки тушка) і що він здобутий в «окол. Кизляра, бер. р. Терек» (чого немає на етикетках).

Про хом'ячків з Харківщини 1923 р. Ситуація містична. В каталозі колекції ННПМ-z значаться два екз. *Cricetulus migratorius* з № 15780 та 15781 (черепи) з місцезнаходження «Ізюмський р-н, с. Кайгородка» і датою 7.05.1929. Проте відомо, що 1929 р. Дюков був у Дагестані, у аналогічну дату 7.05.123 (не 1929) він здобув тхора степового (*Mustela eversmanni*) у тому ж Ізюмському районі, проте у с. Комарівка. Пошук зразків дав змогу виявити лише одного з них (№ 15781), і той виявився не хом'ячком, а хом'яком (*Cricetus cricetus*), зібраним таки 7.04.1923 (варіант 7/05) в Ізюмському районі, проте: 1) запис не оригінальний, недавній (рис. 2 *c*); 2) на звороті (блідо) є запис рукою Дюкова про харчову пробу від хом'ячка з с. Комарівка 7.05.1923, «до шкірки № 67» (рис. 2 *d*); 3) походження «Кайгородки» не ясне, на Харківщині такого локалітету немає. Це підтверджує, що був зразок *Cricetulus* (шкірка, напевно з черепом) з Комарівки, саме в ту дату і від цього дослідника, що Дюков не опинявся в той же день у ще одному місцезнаходженні і не ловив у двох різних місяцях два різні види зі схожими назвами («хом'ячок»

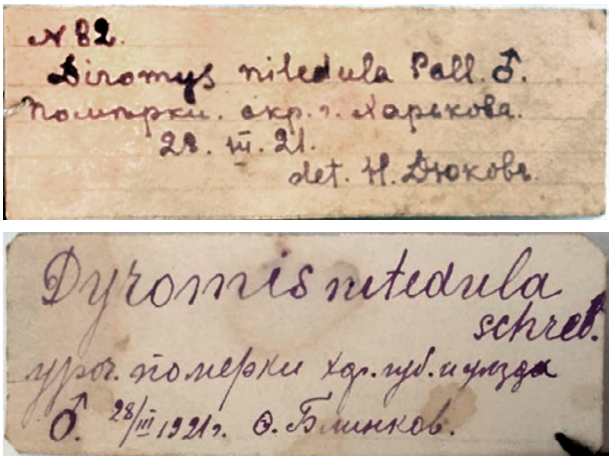


Рис. 1. Записи про зразки, які несуть важливі деталі щодо М. Дюкова: вгорі — запис про зразок зайця білого, здобутого в Литві у 1913 р., у давньому журналі надходжень ННПМ (с. Дембова-Буда, Маріямпольський повіт Сувальської губ.); внизу — етикетка до зразка соні лісової (*Dryomys nitedula*), з околиць Харкова, 28.03.1921 (ННПМ-z, № 619). Перша етикетка (вгорі) написана М. Дюковим; друга (первинна) — колектором О. Блінковим (за: [Zagorodniuk 2023]). Цей зразок, скоріше за все, привезений до ННПМ О. Мигуліним разом з іншими колекціями. У каталозі колекцій ННПМ цей зразок невиправдано записано як «Сумська обл., Лебединський район, 28.06.1953»[6].

Fig. 1. Records about specimens that bear important details about M. Diukov: (top) a record about a mountain hare specimen collected in Lithuania in 1913 in the old inventory book of the NMNH (the village of Dembova-Buda, Marijampolė District, Suwałki Province); (middle and bottom) labels of a forest dormouse specimen (*Dryomys nitedula*) collected near Kharkiv on 28 March 1921 (NNPM-z, No. 619). The first label (middle) was written by M. Diukov; the second, original, label (bottom) was prepared by the collector O. Blinkov (after: [Zagorodniuk 2023]). This specimen was probably transferred to the NMNH by O. Mygulin along with other collection series. In the catalogue of the NMNH collections, this specimen is unjustifiably recorded as 'Sumy Oblast, Lebedyn Raion, 28.06.1953'.

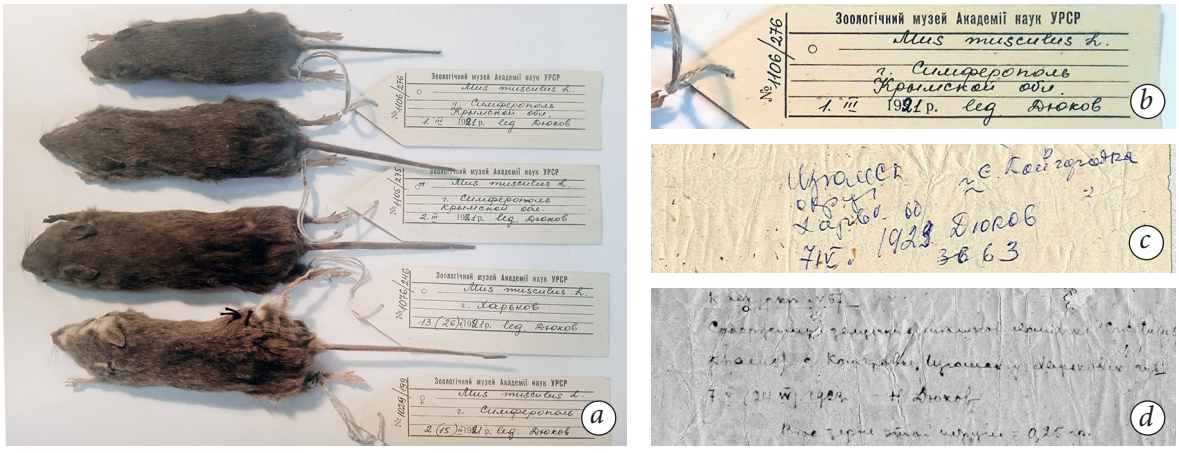


Рис. 2. Зразки мишовидих гризунів та їх етикетки зі зборів М. Дюкова в ННПМ-z. (*a*) миші роду *Mus* з Сімферополя (№ 1105–1106, 1129) та Харкова (№ 1176, третій зверху); (*b*) одна з етикеток зразка з Сімферополя (№ 1106, збільшено); всі етикетки не оригінальні, написані однією рукою (С. Золотухіна?), бл. 2000 року; (*c*–*d*) етикетки «хом'ячка» (за каталогом як *Cricetulus migratorius*), але хом'яка за фактом (череп *Cricetus cricetus*); титульний бік: «Изюмск. окр. Харьк. обл., с. Кайгородка, 7.IV.1923. Дюков, 3663» (почерк Золотухіної?); зворотній бік — «К шкурке № 67. Содержимое защечныхъ мешков хомячка (*Cricetulus phaeus*), с. Комаровка, Изюмск. у., Харьковск. губ., 7.V.(24.IV).1923 — Н. Дюков. Вес зерна этой порции 0,25 гр.».

Fig. 2. Specimens of mouse-like rodents and their labels from M. Diukov's collection housed in NMNHU-z. (*a*) mice of the genus *Mus* from Simferopol (No. 1105–1106, 1129) and Kharkiv (No. 1176, third from the top); (*b*) one of the labels of the specimen from Simferopol (No. 1106, enlarged); all labels are not original, written by one hand (S. Zolotukhina?), ca. 2000; (*c*–*d*) labels of 'dwarf hamster' (catalogued as *Cricetulus migratorius*), but actual hamster (skull of *Cricetus cricetus*); front page: 'Izium District, Kharkiv Region, Kayhorodka Village, 7.IV.1923. Diukov, #3663' (Zolotukhina's handwriting?); the reverse side of the label contains the inscription: 'To skin No. 67. Contents of the cheek pouches of a dwarf hamster (*Cricetulus phaeus*), Komarovka village, Izyum district, Kharkiv province, 7.V.(24.IV). 1923, N. Diukov. The grain weight of this portion is 0.25 g.'

[6] У червні 1953 р. в цьому районі співробітниками музею зібрано серію з 19 гризунів, кажанів і кротів.

і «хом'як»). Отже, плутанина виникла при реінвентаризації. Наведена вторинна етикетка (*c*) писалася нашвидкуруч, з якогось іншого джерела (ймовірно, давнішої етикетки при шкірці, напевно, викинутій), і для запису використано дюківську етикетку.

Про тхорів із Запоріжжя. У каталозі колекції хижих ННПМ [Shevchenko 2007: 52] є запис, не підтверджений зразками: «*Mustela eversmanni. ... № 11627. M. Украина, Запорожская обл., Приазовский р-н. 13.09.1925. Дюков Н. Череп. № 11628. [те саме]*». Ці записи виглядають помилковими, тому що: 1) немає жодного іншого свідчення про роботу Дюкова у Приазов'ї; 2) тепер відомо, що з 1924 р. дослідник працював у Дагестані, і тому навряд чи їздив на лови у Приазов'я; 3) вказана дата (у обох екз.) «13.09.1925», як і назва виду, збігаються з даними для іншого тхора з Дагестану — № 9398 (див. табл. 1). Попри це, саме так і зроблено записи в каталозі [Shevchenko 2007: 57, 61]. Пошук і аналіз зразків підтвердив очікуване: 1) обидва «запорізькі» зразки виявилися зібраними в Дагестані; 2) їхні реальні дані є іншими: № 11627 місце — Тарки-Ногай, дата — 13.09.25 (як і записано), № 11628 — Кара-Ногайський степ, дата 10.10.27 (не 1925); 3) вказівка для № 11627 імені «Мигулін» на явно вторинній етикетці (рукою С. Золотухіної) і на черепі має розумітися як «колекція Мигуліна». На черепі № 11628 є оригінальний напис «Дюков» (рис. 3), і це єдиний тхір зі згаданих тут, колектором якого точно є Дюков. Записи про зразки № 9398 та 11627 перенесено в другу частину (табл. 2).

Рис. 3. Зразки тхора степового, зібрані М. Дюковим, у колекції NMNH-z (у хронології): (*a*) оригінальна етикетка зразка *Mustela eversmanni* № 9401 (171) з Ізюмського р-ну Харківщини; (*b*) оригінальна етикетка зразка *Mustela eversmanni* № 9402 (326) (Асканія, 02.08.23); на етикетці асканійського зразка рукою Дюкова написано «От Вс. Аверина» (це підтверджує співпрацю з Вс. Аверіними, проте спростовує припущення, що М. Дюков працював у Асканії); (*c*) етикетка тхора з Дагестану № 9399 (449) від 3.10.26, з ознаками почерку М. Дюкова; (*d*) зразок *M. eversmanni* № 9398, що зберігається як «leg. Дюков», проте етикетку написано не ним (колектором, позначеним тут як «LEG3»); (*e*) череп зразка № 11628 (Кара-Ногайський степ, 10.10.27), який видають за запорізький (каталог ссавців ННПМ): тут ясно видно напис «Н. Дюков».

Fig. 3. Steppe polecat specimens collected by M. Diukov and housed in the NMNHU-z collection (by chronology): (*a*) original label of a *Mustela eversmanni* specimen, No. 9401 (171) from Izium district, Kharkiv region; (*b*) original label of a *Mustela eversmanni* specimen, No. 9402 (326) (Askania, 2 August 1923); Diukov's handwriting on the label of the Askanian specimen 'from Vs. Averin' (this confirms the co-operation with the Averins, but denies that Diukov himself worked in Askania); (*c*) label of a polecat from Dagestan, No. 9399 (449) dated to 3 October 1926, with signs of M. Diukov's handwriting; (*d*) specimen of *M. eversmanni* No. 9398 stored as 'leg. Diukov,' but the label was not written by him (the collector is marked here as "LEG3"); (*e*) the skull of the specimen No. 11628 (Kara-Nogai Steppe, 10.10.1927), which is incorrectly presented as a specimen from the Zaporizhia region (catalogue of NMNHU): here the signature 'N. Diukov' is clearly visible.

Про тхорів з Асканії. Асканійський зразок (02.08.1923) вносив не менший «шум» у реконструкції мандрів дослідника, ніж зразки тхорів «із Запоріжжя». Тим паче, що в кінці літа і восени 1923 р. в Асканії працювало декілька груп знаних тоді столичних зоологів (вкл. Бориса Завадовського[7], Олександра Формозова та ін.), один з яких до того ж за рік–два разом з Володимиром Гептнером буде мандрувати Дагестаном, опише новий підвид щура, названий на честь Дюкова (1927), а слідом й огляд «Ссавці Дагестану» [Heptner & Formosov 1941]. Як цінний зоологічний факт ця асканійська знахідка відмічена у каталозі хижих [Shevchenko 2007], проте це помилка. На етикетці зразка і в давньому «рожевому» журналі є однозначна примітка «від Вс. Аверіна» (див. рис. 3), що не тільки підтверджує співпрацю Дюкова з братами Аверіними, але й те, що Дюков не здобував тхора, а отримав від Вс. Аверіна труп (чи шкірку) для виготовлення тушки. Інше питання — хто і як передав асканійського звіра; Можливо, це міг бути й О. Формозов, який відвідував Асканію влітку 1923 р., де був в той самий час і Вс. Аверін [Averin 1923]. Примітко також, що у монографії Мигуліна наведено дані про зразок (виміри черепа) самця тхора степового з Асканії з датою 10.09.1923 і приміткою «колекція А. Н. Формозова».

Зразки в ННПМ-р та МПХУ (кажани)

Зразки в ННПМ-р. У цій колекції є два кажани виду *Vespertilio murinus*, записані в картотеці як зібрані М. Дюковим. Історія їх дуже темна; згадки відсутні і у Мигуліна (1938)[8], і у Лисецького й Куниченка [Lisetsky & Kunychenko 1952][9]; уперше згадані в ревізії цієї колекції лише 2013 р. [Godlevska 2013] як: 1) «Зміївський р-н, хут. Соколів, 12.07.1929, № 2057; leg. Переверзєв (у обліковій картці записано як «Дюков»), 2) «м. Харків. 27.06.1926, № 2056; leg. Дюков».

Проте: 1) Дюков з 1924 р. працював уже в Дагестані (а Переверзієв взагалі помер у 1921 р.), 2) аналіз зразків і записів про них (зокрема у «рожевих» журналах» дає змогу говорити про те, що однозначно Дюковим зібрано тільки зразок № 2056, проте однозначно інтерпретувати запис року як «1926 р.» не можна (рис. 4), автор приймає «1920», 3) другий зі зразків має бути атрибутований як зібраний М. Дюковим у 1921 р. (див. пояснення у підписі до рис. 1). Отже, у таблицю 1 дані щодо зразків від Дюкова внесено як: 1) «*Vespertilio murinus*, № 2056, м. Харків, 27.06.20, leg. Дюков»; 2) «*Vespertilio murinus*, № 2057, Чугуївський [кол. Зміївський] р-н, с. Соколове [хут. Соколів], 12.07.21, leg. Дюков»[10].

Зразки звірів у МПХУ. Стаття Ю. Іллюхіна [Iliukhin 2018] про колекції кажанів у МПХУ містить відомості про зразок *Nyctalus noctula*, зібраний 1922 р. на Харківщині, саме М. Дюковим. Етикеткові дані: «окол. Харкова, с. Липовий Гай, 15.05.22 [дата записана двома стилями, як «28 (15)»], n = 1 (S, тушка без чер., кол. М. Дюков)». Цей зразок і його етикетку (однозначно написану рукою М. Дюкова), показано на фото (рис. 5). Пошук згадок про цей зразок у публікаціях інших колег безрезультатний: його не згадано ані в Мигуліна [Myhulin 1938], ані у Лисецького й Куниченка [Lisetsky & Kunychenko 1952]. Відсутність згадок про матеріали М. Дюкова у О. Мигуліна (зокрема, у книзі 1938 р.) найімовірніше пов'язана з репресіями проти

---

[7] Борис Завадовський (1891–1957), знаний еволюціоніст, родом із с. Скоричеве (= Покровське, нині вимерле) на Херсонщині (в широкому розумінні), в окол. Кропивницького; після закінчення МДУ (1909) і роботи там (1914–1918) працював в Асканії (1919), звідки переїхав до Сімферополя, а з 1921 р. й надалі — у Москві.

[8] В Олексія Мигуліна (1938) є Vespertilio murinus з даними: «VII 1927. Коробов, Зміївськ. р-ну, Харк. обл. Колекція Мигуліна». Не можна виключати, що Мигулін остерігався згадувати матеріали Дюкова через те, що того було репресовано (таке було щодо праць і колекцій Б. Волянського й Вс. Великанова).

[9] В огляді О. Лисецького й А. Куниченка [Lisetsky & Kunychenko 1952] є дані про кажанів Харківщини тільки за періоди 1937–1940 та 1946–1951 рр.

[10] Важливо відмітити, що хут. Соколове (варіанти запису в журналах — Соколів, Соколова, Соколи) є невипадковим місцем збору матеріалів: звідти є чимало зразків переважно мисливських звірів (надто *Lepus europaeus* 1917–1918 рр.), здобутих не тільки Дюковим, але й старшим його колегою по ВУСМР Віктором Аверіним та іншими колекторами, явно пов'язаними з мисливським клубом В. Аверіна (Дияконов [Дьяконов], Шубін, Жуков та ін.; ініціали всіх цих персон автору не відомі).

Дюкова (вони напевно були знайомі, й Дюков напевно передавав матеріали О. Мигуліну). Попри це, такі матеріали у Мигуліна не вказано навіть під нейтральним виразом «колекція Мигуліна», що він не раз робив для інших зразків. Тому можна заключити, що кажани Дюкова не були відомі О. Мигуліну[11]. Не наведено зразків, зібраних М. Дюковим, і в кадастрі знахідок кажанів Харківщини [Vlaschenko 2011]. Це третій зразок кажанів, що засвідчує інтерес до них дослідника (і третій рік такого інтересу: 1920–1922). Нині це територія Харкова, місцевість на пд.-зх. міста, у Новобаварському адміністративному районі.

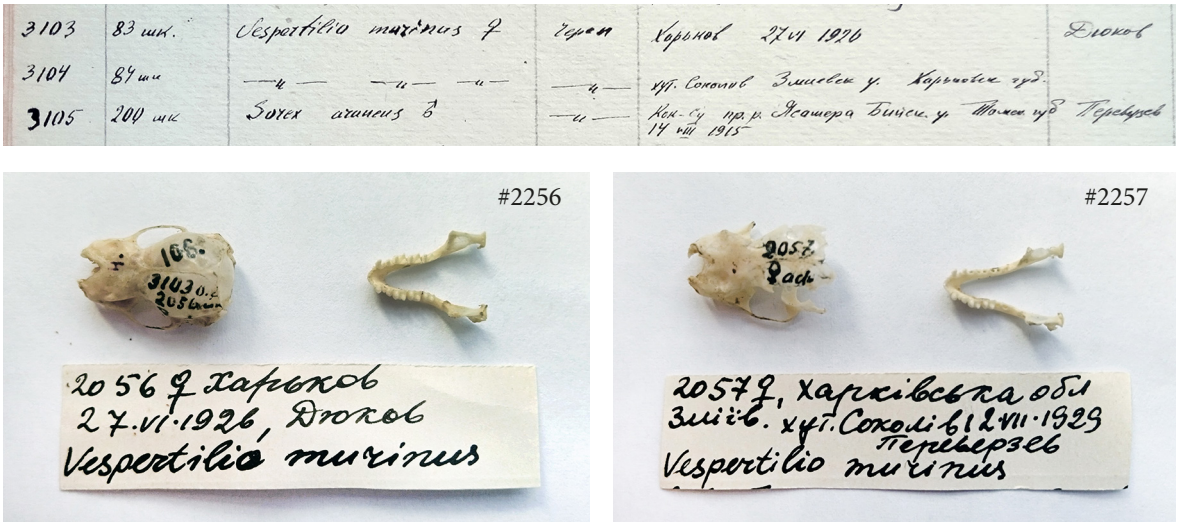


Рис. 4. Запис з ім'ям «Дюков» у одному з давніх журналів обліку ННПМ (вгорі) та фото обох зразків, виявлених у колекції NMNH-p. Етикетки написані одним почерком і явно не колекторами (Мигулін?). У журналі запис «Дюков» однозначно стосується лише № 2056 (= 3103; старий номер є на черепі). Окрім того, інтерпретувати останню цифру як «6» (в журналі), не можна; тут її ідентифіковано як «0». Для зразка № 2057 (= 3104) автор і дата в журналі не вказані, а відмітки «Дюков» і «12.07.21» є в картотеці, тобто ці етикетки (на фото) вторинні і містять помилку (окрім того, Переверзієв помер у 1921 р., а Дюков з 1924 р. жив у Дагестані).

Fig. 4. An entry with the name 'Diukov' in one of the old inventory books of NMNHU (top) and a photo of both specimens found in the NMNHU-p collection. The labels are written in the same handwriting and clearly not by the collectors (Mygulin?). In the journal, the entry 'Diukov' clearly refers only to No. 2056 (= 3103; the old number is on the skull). In addition, the last digit cannot be interpreted as '6' (in the book); here it is identified as '0.' For the specimen No. 2057 (= 3104), the author and date are not indicated in the inventory book, and the notes 'Diukov' and '12.07.21' are found on the collection cards, meaning that these labels (bottom) are secondary and contain an error (in addition, Pereverziev died in 1921, and Dyukov lived in Dagestan from 1924).

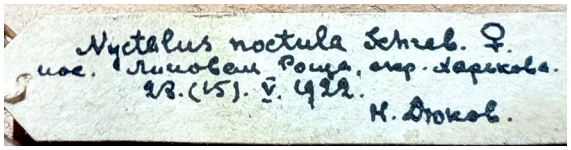


Рис. 5. Кажан *Nyctalus noctula*, препарований М. Дюковим 1922 р., у колекції МПХУ (фото Ю. Ілюхіна). Внизу — збільшена етикетка.

Fig. 5. A *Nyctalus noctula* bat prepared by M. Diukov in 1922 in the collection of the Museum of Nature of the Kharkiv University (photo by Yu. Iliukhin). Below is an enlarged label.

[11] Або такі матеріали були в якійсь нерозібраній Мигуліним частині його колекцій, що могло бути пов'язано з переїздом з Харкова у Заворичі і супровідними невпорядкованостями життя.

Зразки птахів в МПХУ. Попри основний інтерес до ссавців, М. Дюков приділяв увагу й птахам. Якщо у фондах ННПМ такі збори не виявлено (С. Тайкова, особ. повід.), то у МПХУ вони є. Це 5 зразків негоробиних птахів з Дагестану з крайніми датами 23.11.1924 та 5.11.1925. Такі дані взято з каталогу МПХУ [Devyatko & Dzhamirzoev 2012], доповнені й уточнені Т. Дев'ятко (особ. повід.), зокрема щодо Харківщини. Звертає на себе увагу факт, що більшість зразків (очевидно, що всі) мають допис «з колекції В. Аверіна», з яким дослідник напевно продовжував підтримувати стосунки не тільки в харківський, але й дагестанський період своєї роботи.

Записи подано тут скорочено, за хронологією (без авторів назв, статі):

Харківські збори (крайні дати — 10.04.1924 та 27.04.1924). • Дрізд чорний (*Turdus merula*), № 19824. [Харківська обл.], окол. Харкова, [уроч.] Липовий гай. 10.04.1924. М. Дюков (з кол. В. Аверіна). • Дрізд співочий (*Turdus philomelos*), №19706. [Харківська обл.], окол. Харкова, [уроч.] Липовий гай. 18.04.1924. М. Дюков (з кол. В. Аверіна). • мухоловка білошия (*Ficedula albicollis*), № 21382. [Харківська обл.], Харків, [уроч.] Липовий гай. 27.04.1924. М. Дюков (з кол. В. Аверіна).

Дагестанські збори (крайні дати — 23.11.1924 та 5.11.1925). • Голуб сизий (*Columba livia*), № 25424. Дагестан, Махачкалинський р-н, Темиргое. 23.11.1924. М. Дюков (з кол. В. Аверіна). • Хрустан (*Eudromias morinellus*), № 15601. Дагестан, окол. м. Махачкала («Петровськ»). 29.10.1925. М. Дюков. • Дрізд білобровий (*Turdus iliacus*), № 13571. Дагестан, окол. м. Буйнакськ. 31.03.1925. М. Дюков (з кол. В. Аверіна). • Чорноволик (*Calidris alpina*), № 15793. Дагестан, Каспій, окол. м. Махачкала («Петровськ»). 5.11.1925. М. Дюков (з кол. В. Аверіна). • Голуб синяк (*Columba oenas*), 1758 № 25445. Дагестан, окол. м. Махачкала («Петровськ»). 5.11.1925. М. Дюков.

Зразки «не-Дюкова» і Дагестанська зоологічна експедиція (ДЗЕ)

У колекції ННПМ (власне у NMNH-z) є зразки з Дагестану, які позначені в БД та в каталогах як зібрані О. Мигуліним, переважно у вересні 1925 р. (табл. 2). Загалом дагестанських зразків з позначкою «Мигулін» — 27, і їх зібрано 3–16 вересня 1925 р. (Торки-Ногай, Хунзах, Шура). Також у колекції є 4 екз. *Mus musculus* з Дагестану 1924–1925 рр., і серед колекторів — О. Формозов, В. Гептнер та Г. Ебергардт (див. табл. 2), тобто дослідники, які напевно взаємодіяли з М. Дюковим під час його роботи в Дагестані.

У цій серії представлені переважно гризуни степового фауністичного ядра (ховрахи, хом'яки, тушканчики, миші), що доповнює комплекс видів, зібраних точно М. Дюковим у наступний період (1926–1927 рр., див. табл. 1), включно зі тхором степовим, їжачком вухастим, тушканчиком малим, перегузнею тощо.

До таблиці 2 також включено два зразки *Mustela eversmanni* з Дагестану (№ 9398 та 11627), що спочатку були в таблиці 1 і зберігалися як збори В. Дюкова з Приазов'я (що помилково), а за підсумками цієї ревізії перевизначені як збори Мигуліна з Дагестану (найімовірніше зроблені у співпраці з М. Дюковим). Окрім того, ця друга серія містить три зразки *Mesocricetus raddei* з с. Хунзах Буйнакського (= Хунзахського) району, а ми знаємо, що найперша стаття М. Дюкова за матеріалами з Дагестану присвячена саме хом'яку Радде [Diukov 1927], і опис стосується саме Хунзахського плато, проте згадані у статті дати стосуються тільки 1924 р., з крайніми значеннями 20.05.24–20.10.24, позаяк колекційні зразки в ННПМ датовані 1926 роком (див. табл. 2).

Більшість етикеток другої серії належить О. Мигуліну, попри те, що почерків є принаймні два — один однозначно мигулінський (крупний, «мерехтливий», з підкругленими літерами і характерними окремими деталями), а один — подібний до дюківського (рис. 6), названий вище «LEG3» (дрібніший, з невеликим нахилом вліво, чіткий і рівний, без підкрутки літер).

Авторство почерку «LEG3» не ясне; можливо, це «польовий» варіант мигулінського, проте він виглядає самостійним, що дає змогу припустити наявність третьої особи, яка працювала в тій самій групі. У кожному разі збіги дат, а також те, що частина етикеток чи зразків однозначно підписані Мигуліним, Дюковим і третьою особою, свідчать, що це була їхня спільна експедиція, що тривала, за крайніми датами, 3–16 вересня 1925 року.

Таблиця 2. **Зразки з Дагестану 1924–1925 рр. в колекції NMNH-z, асоційовані з Дюковим, проте позначені як зібрані іншими зоологами — О. Мигуліним (OM), В. Гептнером (VH), О. Формозовим (AF), П. Свириденком (PS), Г. Еберґардтом (GE); MD — колектором найімовірніше є М. Дюков*[1]**

Table 2. **Specimens from Dagestan of 1924–1925 in the NMNH-z collection, associated with Diukov, but marked as collected by other zoologists—O. Mygulin (OM), V. Heptner (VG), O. Formozov (OF), P. Svyrydenko (PS), and H. Eberghardt (GE); MD is most likely M. Diukov**

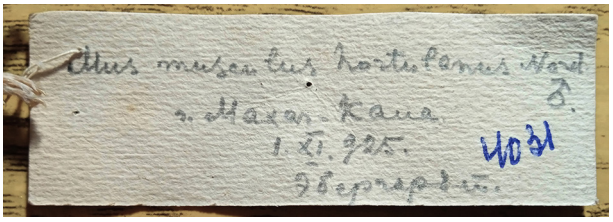
№	Вид	Місцезнаходження	Дата	Leg.
9162 ш	*Mustela nivalis*	Дагестан, х[Тарумовський р-н] («Кизлярська окр.»), с. Раздолье*[2]	25.08.1924 (у каталозі як 06.10.1946)	«OM» [MD]
9025 шч	*Barbastella leucomelas («barbastellus»)*	Дагестан, без дет.	1925	OM
7789 ш	*Pygeretmus pumilio («Alactagulus acontion»)*	Кизлярська окр., окол. с. Тушиловка	28.05.1925	DZE
7790 ш	те саме	КиКизляр	(без дати)	PS
10226–10236 шч	те саме	Торки-Ногай, аул Губеч	16.09.1925 (у каталозі як 16.11.1925)*[3]	OM*[4]
9873–9875 шч	*Mesocricetus raddei*	Айварський окр, аул Хунзах («Хунзок»)	3–6.09.1925 (у каталозі як 3–6.09.1926)	OM [leg3]
992–994 ч	*Spermophilus musicus («Citellus pygmaeus»)*	[Кизлярський р-н], с. Губеч	7–9.09.1925	OM
9383–9388 ш	те саме	Буйнакський окр., аул Буйнакський (Шура)	8–10.09.1925	OM [leg3]
7233–7235 ш(ч)	*Mus musculus*	фортеця Гуніб*[5]	10–12.07.1924	AF, VH
10774–10775 ш	те саме	Торки-Ногай, аул Губеч	15.09.1925 (у каталозі як 15.05.1925)	OM
7225 ш	те саме	Махачкала	01.11.1925	GE
9398 ш(ч)	*Mustela eversmanni*	Тарки-Ногай	13.09.25	OM
11627 (300, 194) ч	те саме	Тарки-Ногай*[6]	13.09.25	OM

*[1] Помилкові дані, опубліковані в каталогах і представлені в БД, взято в лапки. У тих випадках, де зразок найімовірніше здобутий М. Дюковим (за почерком), акронім подано у квадратних дужках [MD], DZE — Дагестанська зоологічна експедиція; *[2] Для вказаного зразка *Mustela nivalis* в БД і в опублікованому каталозі ННПМ [Shevchenko 2007] запису немає; *[3] У каталозі й БД для *Pygeretmus pumilio* № 10232, 10233 та 10236 місяць збору вказано як «11», що, напевно, є помилкою в записі «IX» та «XI»; *[4] етикетки названих зразків написані інших почерком (імовірно, рукою О. Мигуліна), ніж суміжних № 10230, 10231 10234 10235 (записи на «суміжних» подібні до почерку Дюкова); *[5] Формозов і Гептнер влітку 1924 дійсно мандрували Дагестаном і працювали за завданням С. Огньова та в рамках програми зоологічних експедицій Дагмузею [Formosov 2020; М. Формозов, особ. повід.); *[6] для зразка *Mustela eversmanni* № 11627 з Дагестану в БД і в каталозі вказано місце знахідки як «Запорізька обл., Приазовський р-н»; примітно, що наступний № 11628 (див. табл. 1) позначено на черепі підписом Дюкова.

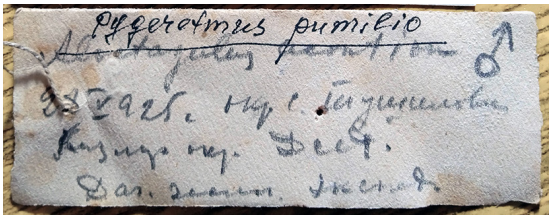
У переліку цих «дотичних» колекцій (табл. 2) є дагестанські зразки ссавців, зібрані О. Формозовим та В. Гептнером, які згодом написали працю «Ссавці Дагестану» (рос.) [Formosov & Heptner 1941]. Припускаю, що такі їх збори (*Mus musculus*, Гуніб, липень 1924 р.) не могли пройти без участі Дюкова: дослідники були знайомими і, як відмічено тут не раз, Формозов 1927 року був співавтором таксону *Arvicola terrestris djukovi* [Ognev & Formosov 1927]. Проте порівняння почерків на етикетках з фортеці Гуніб та підписах до етнографічних рисунків О. Формозова в ті самі дати показало їхню ідентичність[12], тобто це збори не Дюкова (хоча його участь припускалася, як у випадку з іншими зразками з Дагестану, зокрема підписаними ім'ям О. Мигуліна: рис. 6*c*).

Нарешті, звертає на себе увагу зразок кажана *Barbastella barbastellus*, перевизначений автором як *Barbastella leucomelas* (*Barbastella caspica* Satunin 1908); колектором значиться О. Мигулін, місце — «Дагестан [без. дет.]». Зразок перевизначено за характерними морфологічними ознаками (відсутність зовнішньої шкірної лопаті на вушниці і світло-золотаве забарвлення

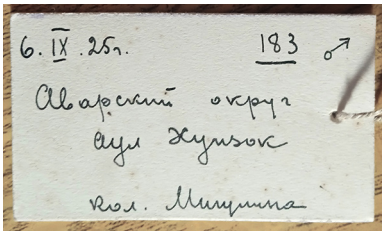
[12] Формозов А. Н. «Дневниковые записи» (журнал «Даръ» № 172–174). З цим врешті погодився і М. Формозов (особ. повід.). Понад те, було уточнено: «Да, это их сборы Дагестанской экспедиции, подаренные Дюкову. Там какая-то странная изменчивость была у домовой мыши. Например, мыши с белым пятном на брюхе» (лист 7.03.2023). Отже, зразки прийшли до ННПМ від Дюкова (найімовірніше, що через Харків і за посередництва О. Мигуліна).



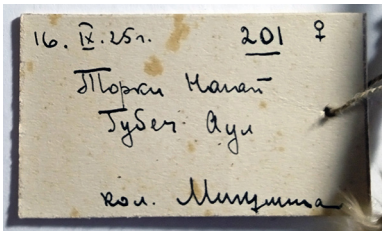
a # 7225 (4031) *Mus musculus*



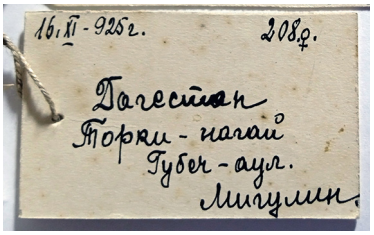
b # 7789 *Pygeretmus pumilio*



c # 9873 (183) *Mesocricetus raddei*



d # 10235 (201) *Pygeretmus pumilio*



e # 10229 (208) *Pygeretmus pumilio*

Рис. 6. Оригінальні етикетки від зразків ссавців з Дагестану, які могли бути зібрані за участі М. Дюкова, в колекції NMNHU-z: (*a*) оригінальна етикетка зразка № 7225 (*Mus musculus* з Махачкали, leg. Еберггардт[13]); етикетка, на переконання автора, написана почерком Дюкова; (*b*) оригінальна етикетка зразка № 7789 (*Pygeretmus pumilio* з Кизлярського р-ну, 28.05.29); етикетка підписана як «Дагестанська зоологічна експедиція» (ця експедиція Дагмузею і Дагестанського НДІ діяла у 1924–1928 рр.: [Boehme 1928]); (*c*–*e*) етикетка зразка № 9873 (*Mesocricetus raddei* з Аварського району, 6.09.1925); на цій етикетці, як і майже всіх етикетках вересня 1925 р. (тушканчики та ховрахи, див. табл. 1), є ознаки почерку М. Дюкова (заголовна «А» як мала, написання «к» та ін., проте є й відмінності — почерк відносно крупний, рік без «9», не як «925», тощо), проте цей почерк (LEG3, див. *c*–*d*) не схожий на почерк Мигуліна (*d*), який менш чіткий, виглядає з великими підкрутами багатьох літер, «дитячий»).

Fig. 6. Original labels of mammal specimens from Dagestan, which could have been collected with the participation of M. Diukov, housed in the NMNHU-z collection: (*a*) original label of specimen No. 7225 (*Mus musculus* from Makhachkala, leg. Eberghardt); the label is written in Diukov's handwriting; H. Eberghardt was Dyukov's colleague (his work on the locust of Dagestan is known: [Ebergardt 1930]); (*b*) original label of specimen No. 7789 (*Pygeretmus pumilio* from Kizlyar district, 28.05.29); the label is signed as 'Dagestan Zoological Expedition' (this expedition of the DagMuseum and the Dagestan Scientific Research Institute took place in 1924–1928: [Boehme 1928]); (*c*–*e*) label of specimen No. 9873 (*Mesocricetus raddei* from the Avar district, 6 September 1925); on this label, like almost all labels dated to September 1925 (jerboas and susliks, see Table 1), there are signs of M. Diukov's handwriting (the initial 'A' is small, the form of 'k', etc., but there are also differences—the handwriting is relatively large, the year without '9,' not like '925,' etc.), but this handwriting (LEG3, see *c–d)* is not similar to Mygulin's (*d*), which is less clear, with large twists in many letters, looks 'childish').

спини, FA = 41,7 мм), проте точність визначення недостатня. З огляду на високу мінливість морфологічних ознак [Kruskop 2015] та наявність у Дагестані обох видів [Smirnov *et al.* 2019], матеріал вимагає подальшого аналізу.

Загальний обсяг колекцій

У досліджених колекціях матеріали Миколи Дюкова представлені такими обсягами: разом 57 екз. 17 видів 10 родин 5 рядів. Для кожного виду вказано число колекційних зразків за основною вибіркою (зберігаються як збори Дюкова, табл. 1) та число екземплярів за додатковою вибіркою (які не каталогізовані як збори Дюкова, проте переважно такими є: табл. 2). Порядок наведення таксонів у списку — систематичний (за: Zagorodniuk & Emelyanov 2012]).

Ряд 1. Leporiformes, seu **Lagomorpha** (2 екз., 2 види):

родина Зайцеві (Leporidae)

- заєць білий (*Lepus europaeus*) — 1 (1+0);
- заєць сірий (*Lepus europaeus*) — 1 (1+0);

[13] Г. Еберггардт — колега Дюкова (відома його праця про сарану Дагестану: [Ebergardt 1930])

Ряд 2. Muriformes, seu **Rodentia** (42 екз., 8 видів):

родина Вивіркові (Sciuridae)

- ховрах малий (*Spermophilus musicus*) — 9 (0+9);

родина Вовчкові (Gliridae)

- соня лісова (*Dryomys nitedula*) — 1 (0+1);

родина Стрибакові (Dipodidae)

- тушканчик малий (*Pygeretmus pumilio*) — 13 (0+13);

родина Сліпакові (Spalacidae)

- сліпак гігантський (*Spalax giganteus*) — 3 (3+0);

родина Хом'якові (Cricetidae)

- хом'як Радде (*Mesocricetus raddei*) — 3 (0+3);
- хом'ячок сірий (*Cricetulus migratorius*) — 2 (2+0);
- щур водяний (*Arvicola terrestris*) — 1 (1+0);

родина Мишеві (Muridae)

- миша хатня (*Mus musculus*) — 10 (4+6);

Ряд 3. Soriciformes, seu **Lypotyphla** (1 екз., 1 вид):

родина Їжакові (Erinaceidae)

- їжачок вухастий (*Hemiechinus auritus*) — 1 (1+0);

Ряд 4. Vespertilioniformes, seu **Chiroptera** (3 екз., 3 види):

родина лиликові (Vespertilionidae)

- широковух азійський (*Barbastella leucomelas*) — 1 (0+1);
- вечірниця дозірна (*Nyctalus noctula*) — 1 (1+0);
- лилик двоколірний (*Vespertilio murinus*) — 1 (1+0);

Ряд 5. Caniformes, seu **Carnivora** (9 екз., 3 види):

родина Мустелові (Mustelidae)

- тхір степовий (*Mustela eversmanni*) — 6 (4+2);
- [мустела] ласка (*Mustela nivalis*) — 2 (1+1);
- перегузня степова (*Vormela peregusna*) — 1 (1+0).

Таксидермія та етикетки

У різні періоди своєї роботи дослідник виявляв інтерес не тільки до вивчення видів, але й створення колекцій: він займався таксидермією та охайно оформляв етикеткові дані (рис. 7)[14]. Як справедливо примітила завідувач теріологічними фондами ННПМ Євгенія Улюра при пошуку зразків авторства Дюкова, «тушки він робив добре» (див. рис. 8).

Рис. 7. Колекційний зразок (тушка з черепом) та етикетка щура водяного з Махачкали, написана М. Дюковим. Колекція ННПМ-з, № 9897 (17.10.1924); ймовірно, лектотип *Arvicola terrestris djukovi* Ognev et Formosov 1927.

Fig. 7. Collected specimen (mounted skin with skull) and label of a water vole from Makhachkala, written by M. Diukov. Collection of NMNHU-z, No. 9897 (10/17/1924); probably the lectotype of *Arvicola terrestris djukovi* Ognev et Formosov 1927.

[14] Очевидно, це стосувалося й робочих журналів і польових щоденників, нам не відомих.

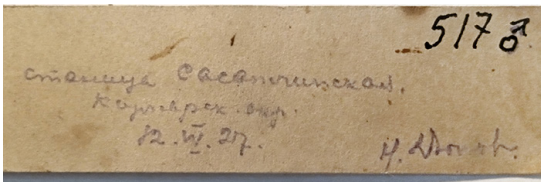


Рис. 8. Опудало сліпака *Spalax giganteus*, виготовлене М. Дюковим (ліворуч) та його етикетка (праворуч), заповнена рукою М. Дюкова. Колекція ННПМ-z, № 9448 (12.04.1927). Фото автора та Є. Улюри.

Fig. 8. A mounted mole rat *Spalax giganteus* prepared by M. Diukov (left) and its label (right) written by Diukov's hand. NMNHU-z collection, No. 9448 (12 April 1927). Photo by the author and E. Ulyura.

І це так само можна сказати про етикетки, акуратно зроблені і охайно заповнені ключовою інформацією. Понад те, складається враження, що дослідник мав постійні таксидермічні практики. Судячи з того, що він робив і вторинні етикетки (див. рис. 1).

Творчість, захоплення, коло спілкування

Стилі

Також важливо, що текст написано «кучеряво», грамотно, складно-підрядними реченнями, з широким словниковим діапазоном, чітко побудованим викладом тощо. З цього можна припустити високий рівень базової і спеціальної освіти дослідника, володіння ним словом та логікою викладу думок. У цьому вгадується висока освіта, можливо й домашня, але, очевидно, і гімназична та університетська.

Мисливствознавство

З усього видно, що Микола Дюков був мисливцем. Його мисливствознавчі практики 1922–1923 рр. явно слідують зі статті про вовків на Харківщині [Diukov 1923].

Подальші численні публікації «дагестанського» періоду про ссавців (тур, джейран: [Diukov 1923, 1930*a*] та птахів (султанка, стерх, рябок, фазан: [Diukov 1927, 1928, 1929, 1930*b*] присвячені очевидно мисливській фауні. Понад те, всі вони опубліковані в мисливських виданнях: «Охота и Рыболовство» (Харків 1923), «Охотник» (Москва 1926–1930), «Український мисливець та рибалка» (Харків 1930). Разом це шість публікацій з 11 відомих[15], що засвідчує високий рівень уваги до мисливської фауни.

Краєзнавство

У щоденниках О. Формозова, що є у розпорядженні автора (копії люб'язно надані М. Формозовим), є сторінки, присвячені конспекту щоденників М. Дюкова, де нарівні з докладними зоологічними нарисами й добірками фактів зібрано неймовірно цікаві місцеві повір'я і звичаї, пов'язані з тваринами, добірки місцевих назв тварин тощо. У межах цього дослідження ці теми тут не будуть викладатися, проте вони заслуговують на увагу, тим паче що конспект записів Дюкова щодо звичаїв та повір'їв має дописку «in litt.», що може означати факт підготовки Дюковим якоїсь краєзнавчої чи етнологічної публікації, автору не відомої.

[15] Окрім «мисливських» публікацій, ще є статті про хом'яка Радде і сарану (див. вище).

Коло спілкувань

Однозначно мав прямі контакти з В. Аверіним, оскільки, очевидно, працював у Президії (або якійсь управлінській структурі) Харківського відділення ВУСМР (непрямі вказівки в матеріалах статті про вовків: [Diukov 1923]). Оскільки колекційні зразки майже напевно потрапили до Києві з колекціями О. Мигуліна [Zagorodniuk 2023*a*], можна припустити і тісну співпрацю з цим дослідником, а, отже, з кафедрою зоології ХСГІ та мисливською лабораторією Аверіна (про початки цієї лабораторії див.: [Averin 1923]). Відомо про прямі контакти з Олександром Формозовим.

Микола Формозов на запит автора повідомив наступне. «Он подарил папе живую султанку. Вот выписка в дневнике Формозова. «*Из записной книжки Н. Н. Дюкова. 3. Porphyrio porphyronotus. В середине сентября месяца 1924 года я купил на улице у железнодорожника султанку. История ее такова: вечером небольшая стайка султанок летела над поселками около ст. ж.д. Петровск-Кавказский. Одна из птиц села на дерево, но была согнана мальчишками и залетела в сарай. Птица эта мною передана А. Н. Формозову. 28 декабря 1924 г. на рынке г. Махач-Кала купил двух битых; оба ♂♂*».

Аналіз дорожніх щоденників О. М. Формозова показав, що Формозов був у Махачкалі (тоді Петровську) напевно в гостях у Дюкова: у щоденнику за 1924 р. є 16 сторінок записів (конспекти з дюківських зоологічних щоденників), датовані 29.12.1924. Очевидно, що такі записи дуже цікавили самого Формозова, оскільки містили чимало краєзнавчої інформації (повір'я, пов'язані з тваринами, місцеві назви тварин, фауністичні факти та описи екології окремих видів, зокрема хом'яка Радде і хом'ячка сірого). Такі записи збережено родиною Формозових і фото згаданих сторінок передані для аналізу автору.

Серед тих, з ким Дюков активно співпрацював в рамках роботи Дагестанських експедицій, був орнітолог Лев Бьоме (1895–1954). По-перше, Бьоме був одним з організаторів таких експедицій і автором нарису про 10 років їх існування (1918–1928) [Boehme 1928]. По друге, існує декілька прямих вказівок про спільну роботу Дюкова і Бьоме, як от у П. Свириденка: «*Дагестанський ховрах, за даними С. І. Огнєва [cit.], а також за відомостями, які люб'язно повідомили мені зоолог Л. Б. Бьоме і М. М. Дюков, поширений окремими колоніями в Махач-Калинському та Буйнакському районах*» [Svyrydenko 1927: 132] Врешті, публікації Дюкова про хом'яка Раде [Diukov 1927] передувала публікація Л. Бьоме про гризунів Північного Кавказу [Boehme 1925], чим Бьоме міг захопити й Дюкова, до того мисливця, тобто знавця переважно великорозмірних ссавців.

Відзнаки та визнання

На честь Миколи Дюкова названо новий підвид щура водяного з Дагестану — *Arvicola terrestris djukovi* Ognev et Formosov 1927. Його згодом детально переописано в огляді С. Огнева «Звірі СРСР...» [Ognev 1950: 644–645] під вернакулярною назвою «лакська водяна криса». Тип S-29620 (М.36), с. Кумалу, Кази-Кумухский уч[асток]. Лакского окр[уга]., Дагестан, 12.10.1924, leg. Н. Н. Дюков (Зоологічний музей МДУ). В ННПМ є зразок щура водяного № 9897, зібраний Дюковим в Дагестані 17.10.1924; можливо, це лектотип: в описі цей зразок не згадано [Ognev & Formosov 1927].

Також, судячи з кількості і регулярності публікацій М. Дюкова в мисливських виданнях, зокрема журналі «Охотник», можна припустити, що він був відомим і почесним мисливцем, а можливо й іменитим членом мисливських товариств та відомим автором тогочасних мисливських видань, проте на сьогодні це лише припущення.

Репресії та реабілітація

Від початку підготовки цієї розвідки дивувало декілька фактів, пов'язаних з колекціями — за крайніми датами, як відзначено вище, колекції зібрані протягом 1913–1927 рр., дагестанські — 1924–1927 рр. І попри те, що кількість зібраних Дюковим зразків явно наростала в часі, збори після 1927 р. не відомі. Причиною цього могли бути хвороби, але публікації про птахів

і звірів та полювання на них продовжувалися до 1930 року. Тому можна припустити, що колекції були втрачені. Причиною цього могли стати комуністичні репресії, яких для того часу не бракувало.

Про можливе заслання свідчила й остання за хронологією праця дослідника, яка вийшла через шість років після останньої появи дослідника в науковому просторі. Ця стаття 1936 р. своєю «відтермінованою» появою дала сильну асоціацію на долі й дороби інших репресованих колег, що автор досліджував раніше. Припущення посилювалися й тим, що активність дослідника «раптом» проявилася через стандартні 5 років заслання й по іншому регіону — Казахстану, звідки добре відомі численні «Степлаги». Праця ця мала назву «*Главнейшие вредные саранчовые Казахстана и борьба с ними*» [Diukov 1936].

Прикладний характер цитованого огляду нагадував подібні історії інших колег (зокрема Сергія Оболенського, Всеволода Великанова, Євдокії Решетник тощо), засланих у табори з правом займатися своїми дослідженнями з прикладним значенням; найімовірніше на потреби самих таборів [Zagorodniuk 2013a, 2022; Korobchenko 2016]. Припущення про заслання Миколи Дюкова врешті, підтвердили пошуки, проведені автором за сприяння Миколи Формозова та Махача Мусаєва. У базах даних репресованих[16] та у виданні «*Книга пам'яті жертв політичних репресій XX ст. у Дагестані*» [Musaev 2020]. Записи в цих та інших базах ідентичні, без взаємних доповнень:

> *«Дюков Николай Николаевич, 1896 г.р., уроженец г. Харьков УССР. Арестован 05.04.1931. Приговорен 14.12.1931 заседанием Коллегии ОГПУ к 5 годам лишения свободы в концлагере. Реабилитирован 08.08.1989 Прокуратурой ДАССР.» [Musaev 2020: 250]*

Отже, все збіглося — і розрахований у цій розвідці рік народження, і факт народження у Харкові, і робота до 1930 р. в Дагестані, і відновлення активності 1936 року (5 років таборів), при тому в іншому регіоні (Казахстан). З цього слідує, що 1936 рік був кінцем таборів, проте наступний 1937 рік не ніс нічого доброго... Він став останнім для багатьох яскравих і талановитих науковців. Найімовірніше і для Миколи Дюкова.

Насамкінець на прохання автора відгукнувся упорядник згаданої «Книги пам'яті...», у якого збереглися дещо ширші, ніж ним опубліковано, матеріали. З цих даних слідує уточнення, що «Реабілітований 16.01.1989 г. на підставі Указу Президії Верховної Ради СРСР і висновком Прокуратури ДАРСР від 08.08.1989 г. Архівна справа № 2/7665.» (переклад з рос.). Це небагато додало до розуміння. Ясно лише, що була вказівка згори, не ініціатива тих, хто засудив. І ще тепер відомий номер справи. Сподіватимемося, що Дагестан скоро стане вільною країною, і тоді відомості про репресії росіянами українців у Дагестані стануть доступними загалу. А поки вітаємо дагестанських колег зі 100-річчям наукової діяльності українського дослідника фауни Дагестану Миколи Дюкова.

Подяки

Автор щиро дякує Золтану Баркасі, Олександру Ковальчуку та Євгенії Улюрі за допомогу в опрацюванні колекцій ННПМ, пошуку і фотографуванні зразків та етикеток. Моя подяка І. Павлінову за важливі уточнення щодо типової серії дагестанських *Arvicola terrestris djukovi* в колекції Зоологічного музею МДУ. Дякую Миколі Формозову за допомогу в пошуку окремих сторінок біографії Миколи Дюкова, у т.ч. важливих деталей у спогадах батька про його роботу в Асканії у 1923 та в Дагестані у 1924–1925 рр. та відомостей про Миколу Дюкова у базах даних щодо репресованих радянською владою науковців. Моя подяка Олені Артем'євій за сприяння у пошуку публікації дагестанського періоду. Дякую Світлані Тайковій та Тетяні Дев'ятко за уточнення даних про зразки птахів у музеях. Дякую Ганні Межжеріній за редагування тексту.

[16] Записи щодо «Дюков Николай Николаевич» знайдено в кількох базах, зокрема в «Открытый список» (https://bit.ly/3lTi96h) та «Единая база данных жертв репрессий в СССР» (№ 1970184, https://bit.ly/41giz6W).

Дослідження проведено в рамках наукової теми відділу музеології ННПМ НАН України на 2021–2023 роки «Наукові колекції натуралій як джерело дослідження біотичного різноманіття, історії та розвитку природничих музеїв» (Державний реєстраційний номер теми 0121U100527).

References

Alphabetic... 1917. *Alphabetical List of Students of Kharkiv University 1916-1917 Academic Year.* Pechatnoe Delo Publishing House, Kharkiv, 1–112. https://bit.ly/3TOe6VU

Averin, V. G. 1923. Report on the First All-Ukrainian Exhibition of Hunting and Fishing on July 22–29, 1923 in Kharkiv. *Hunting and fishing*, № 5–6: 9–24. [In Russian]

Averin, Vs. G. 1923. Askania-Nova. *Hunting and Fishing*, № 5–6: 31–54. [In Russian]

Boehme, L. B. 1925. *On the biology and distribution of some rodents of the North Caucasus.* North Caucasian Regional Plant Protection Station. Vladikavkaz, 1–15.

Boehme, L. B. 1927. Zoological research in the Karanogai and Nogai steppes of the Dagestan ASSR. *In: Dagestan collection. Volume 3*. Makhachkala, 248–249.

Boehme, L. B. 1928. Brief review of zoological research in the Dagestan ASSR over the past 10 years. *In: Ten Years of Scientific Work 1918–1928 in Dagestan. Collection of articles.* Makhachkala, 25–29. [In Russian]

Cheremnykh, N. 2017. Collectors of mammalogical collections of the State Museum of Natural History, NAS of Ukraine in the 1900–1930s. *Proceedings of the Theriological School*, **15**: 175–180. http://doi.org/10.15407/ptt2017.15.175

Cherniaev, N. I. 1900. *Kharkiv illustrated theatrical almanac. Materials for the history of the Kharkiv scene.* Printing house Yuzhnyi Krai, Kharkiv, 1–107. [In Russian] https://bit.ly/40DZMBd

Devyatko, T. N., G. S. Dzhamirzoev (ed.). 2012. *Catalog of the ornithological collection of the Museum of Nature of V. N. Karazin Kharkiv National University.* Dagestan Pedagogical University, Makhachkala, 1–398. [In Russian]

Diukov, N. N. 1923. Wolves in the Kharkiv province. *Hunting and Fishing (Kharkiv)*, No. 3–4: 9–12. [In Russian]

Diukov, N. 1926. Towards the biology of the Sultan's chicken. *Hunter (Moscow),* **3** (12): 19. [In Russian]

Diukov, N. N. 1927. Blackish Dagestan hamster. *In: Dagestan Collection, Volume 3*. Dagestan Research Institute, DagNarKomPros, DagMuseum and others. Makhachkala, 169–174. [In Russian]

Diukov, N. 1928. To the knowledge of the distribution of the Siberian Crane. *Hunter (Moscow),* **5** (9): 22. [In Russian]

Diukov, N. 1929. To the knowledge of the distribution of the black-bellied sandgrouse (Pterocles orientalis L.). *Hunter (Moscow),* **6** (10): 17. [In Russian]

Diukov, N. N. 1929. To the knowledge of the distribution of Oxya fuscovittata Marsch. (Orthoptera, Catantopinae). *Proceedings of the Russian Entomological Society*, **23** (1-2): 141–142. [In Russian]

Diukov, N. N. 1930a. Aurochs and the hunt for it. *Ukrainian hunter and fisherman*, № 2-3: 17–19. [In Russian]

Diukov, N. 1930b. Goitered gazelle. *Hunter (Moscow),* № 12: 24–25. [In Russian]

Diukov, N. 1930c. Pheasant in the Dagestan SSR. *Hunter (Moscow),* **7** (6): 17. [In Russian]

Diukov, N. N. 1936. *The Main Harmful Locusts of Kazakhstan and Their Control.* Kazakhstan Regional Publishing House, Alma-Ata, 1–92. [In Russian]

Ebergardt, G. 1930. A new parasite of the Asian locust, Chortophila cilicrura Rond. (Diptera), in Dagestan. *Protection of plants from pests (Leningrad)*, **6** (5–6): 813–814. [In Russian]

Eremeyeva, I. V. 2013. Theatrical Kharkiv of the end of the 19th century in the memories of contemporaries. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Actual problems of the history of Ukraine*, **25** (998): 22–29. [In Ukrainian] https://bit.ly/3ZigWDu

Filipenko, S. 2014. Records of the Steppe Polecat (Mustela eversmanni Lesson, 1827) in Ukraine: Review of Zoological Collections. *Proceedings of the Theriological School*, **12**: 102–107. http://doi.org/10.15407/ptt2014.12.102

Formozov, A. 2020. *From Dvina to Murghab. Ways and Paths of the Animal Painter*. Dar, 1–277. (Series: Google Books, online: https://bit.ly/41LQBAf) [In Russian]

Franzi, A. M., Diukov N. N. 1930. Autumn breeding of the Asian locust in Dagestan in 1927. *Proceedings on Plant Protection, Entomological Series*, No. 1 (1): 179–189. [In Russian]

Godlevska, L. 2013. Recent bats in the collection of the paleontological museum of NMNH, NAS of Ukraine. *Zbìrnyk Prac' Zoologìčnogo Muzeû*, **44**: 145–157. [In Ukrainian] https://bit.ly/3SkJkmF

Golda, D. 2006. Hunting periodicals across time. *Hunting and Fishing*, No. 5 (55): 5.

Heptner, V. G. 1926. *Brief guide to mammals of Dagestan*. Publishing House of the Dagestan SRI, Makhachkala, 1–59. [In Russian]

Heptner, V. G., A. N. Formozov. 1941. Mammals of Dagestan. *Proceedings of the State Zoological Museum.* Moscow University, **4**: 3–74. [In Russian]

Iliukhin, Yu. 2018. Representatives of the order Chiroptera in the collection of the Museum of Nature at V. Karazin Kharkiv National University. *Theriologia Ukrainica*, **16**: 77–84. http://doi.org/10.15407/pts2018.16.077

Kruskop, S. V. 2015. Dark and pale: taxonomic status of the barbastelle (Barbastella: Vespertilionidae, Chiroptera) from Central Asia. *Acta Chiropterologica*, **17** (1): 49–57.
Myhulin, O. O. 1938. *Mammals of Ukrainian RSR (Materials to Fauna)*. Academy of Sciences of Ukr. SSR, Kyiv, 1-426. [In Ukrainian]
Musaev, M. A. (ed.). 2020. T*he Book of Memory of Victims of Political Repression of the XX Century in Dagestan ASSR.* Mavraev, Makhachkala, 1–720. [In Russian]
Lisetsky, A. S., A. A. Kunychenko. 1952. Bat fauna (Chiroptera) of the Kharkiv region. *Proceedings of Research Institute of Biology, Kharkiv University*, **16**: 87–92. [In Russian]
Ognev, S. I., A. N. Formosov. 1927. A new form of water vole from Dagestan. *The Annals and Magazine of Natural History, Ser. 9*, **19**: 138–141.
Ognev, S. I. 1950. Subfamily Microtinae. Voles. Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, Moscow; Leningrad, 1–706. (Series: Mammals of the USSR and adjacent countries; Vol. 7). [In Russian]
Rozora, Zh. 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. [In Russian]
Shevchenko, L. S., S. I. Zolotukhina. 2002. *Mammals. Issue 1: Murids — Muridae*. Zool. Mus. of the National Museum of Natural History of Ukraine, Kyiv, 1–217. [In Russian]
Shevchenko, L. S., S. I. Zolotukhina. 2005. *Mammals. Issue 2. Insectivores, Bats, Lagomorphs, Rodents*. Zoological Museum, NMNH of Ukraine, Kyiv, 1–238. [In Russian]
Shevchenko, L. S. 2007. *Mammals. Issue 3. Carnivores. Lagomorphs (addendum)*. National Museum of Natural History of Ukraine, Kyiv, 1–80. [In Russian]
Smirnov, D. G., V. P. Vekhnik, G. S. Dzhamirzoev, Yu. Bykov. 2019. New data on the distribution of bats (Chiroptera) in the flat part of the Republic of Dagestan. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, **4** (4): 1–15. https://doi.org/10.21685/2500-0578-2019-4-5 [In Russian]
Sviridenko, P. A. 1927. Distribution of ground squirrels in the North Caucasian region and some considerations about the origin of the fauna of the Ciscaucasian and Kalmyk steppes. *Bulletin of the North Caucasian Plant Protection Station (Rostov-on-Don)*, No. 3: 123–171. [In Russian]
Tolstoy, N. N. 1922. *Hunting in the Caucasus.* M. & S. Sabashnikov Publishing House, Moscow, 1–114. [In Russian] https://bit.ly/42JPi5e
Volkov, S. V. 2016. *The Highest Bureaucracy of the Russian Empire. Brief Dictionary*. Moscow, Russian Foundation for the Promotion of Education and Science, 1–799. https://bit.ly/3LRKYer [In Russian]
Vlaschenko, A. S. 2011. Research history and list of records of bats (Chiroptera) in the Kharkiv region in the XIX and XX centuries. *Plecotus et al,* **14**: 26–54. [In Russian]
Zagorodniuk, I. 2013a. Vsevolod Velykaniv as investigator of fauna of Ukraine in 1920–1930s: biography, collections, publications. *Proceedings of the National Museum of Natural History*, **11**: 115–134. [In Ukrainian] https://bit.ly/3ItXRb3
Zagorodniuk, I. V. 2013b. Zoological collections as source of biographical information: towards history of investigations of Anatol Argyropulo and Boris Popov. *In: Practical Topics of Natural Museology.* Natl. Mus. Nat. Hist., NAS Ukraine, Kyiv, 15–16. [In Ukrainian]
Zagorodniuk, I. 2015. Collectors of Mammological Collection of the National Museum of Natural History NAS of Ukraine during 1930th. *Contribution of amateur naturalists into biological diversity studies.* International Scientific Conference. Ferenc Rákóczi II Transcarpathian Hungarian College, Berehove, 299–305. [In Ukrainian]
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. [In Ukrainian] https://bit.ly/3km0jZp
Zagorodniuk, I., V. Parkhomenko. 2018. Boris Valkh and the development of zoology and museology in the East of Ukraine. *The Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Biology*, **31**: 72–98. [In Ukrainian]
Zagorodniuk, I. (ed.). 2022. *Theriology in Ukraine. Part 1 (100 Outstanding Researchers of the Past)*. Ukrainian Theriological Society and National Museum of Natural History, NAS of Ukraine, Kyiv, 1–368. (Series: Novitates Theriologicae; Pars 14). http://doi.org/10.53452/nt14
Zagorodniuk, I. 2023. 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**: 9–22. [In Ukrainian] https://doi.org/10.26565/2075-5457-2023-40-1
Zagorodniuk, I., E. Ulyura. 2023. The collections of Mykola Diukov and Viktor Drebentsiv in the National Museum of Natural History (Kyiv). *Visnyk of the Lviv University. Biology Series*, Vol. **89**: (in press). [In Ukrainian]

GEO&BIO

2023 • vol. 24, pp 46–63
https://doi.org/10.53452/gb2405

Peculiarities of the socialising role of natural history museums under conditions of transformation of the Ukrainian society

Oleksandr Radzivill, Volodymyr Grytsenko

National Museum of Natural History, NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

article info

key words

natural history museum, socialisation, self-reference, interpersonal communications, postmodernism, ontology.

correspondence to

Oleksandr Radzivill; National Museum of Natural History, NAS of Ukraine, 15 Bohdan Khmelnytsky Street, Kyiv, 01054 Ukraine,
Email: stishovit@gmail.com;
orcid: 0000-0003-0901-2967

article history

Submitted: 18.04.2023. Revised: 30.06.2023. Accepted: 30.06.2023.

cite as

Radzivill, 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 [In Ukrainian, with English summary]

abstract

An overview of the potential role of natural history museums in the socialisation of citizens under conditions of revolutionary worldview changes is presented, the meaning of which in Ukraine is the reinvention and final formation of the political nation and civil society. The unique set of means of information presentation and unobtrusive influence on visitors that a museum can offer for socialisation were analysed in the context of N. Lugman's vision of society as a complex of cycles of self-reference and autopoiesis, which is realised through interpersonal and public communications. The power of the inertia of interpersonal communication is conclusive, both in the promotion of new ideas and in resistance to their influence. Therefore, reforms of society are impossible without systemic changes at this level, for which language serves as the main mediator. Language is identified as the basis for other 'communication facilitators': the means of storing and transmitting information and the 'generalised exchange mediators' that are increasingly the product of public communication. Analysing the modern changes that a museum must take into account, both in relations with the audience and in the content of messages, they are considered as a consequence of the finalisation or 'change of sign' in various-scale fluctuations of social and cultural dynamics, which embody fluctuations in the confrontation of certain oppositional principles. The most short-term of them in Ukraine turned out to be changes in European integration sentiments and the corresponding actions of the authorities. A fragment of the longest confrontation can be considered the transition of Humanity from the realities of state-caste societies, which are about six thousand years old, to the ideals of civil society, which is just beginning to form. For changes in the field of philosophy, the transition from the narratives of postmodernism to the foundations of metamodernism, which, in particular, includes the 'new ontology' of M. Hartman, has become significant. An overview of ideas and narratives that the National Museum of Natural History can share with the audience are offered. At the same time, the content of ideas and narratives is adjusted by the provisions of ontology in the interpretation of N. Hartman, and considerations regarding the possible forms of presenting information are oriented, first of all, to the understanding of the age-related features of its perception by J. Piaget.

© 2023 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.

Особливості соціалізуючої ролі науково-природничого музею в умовах трансформації українського суспільства

Олександр Радзівілл, Володимир Гриценко

Резюме. Здійснено огляд можливостей Музею в соціалізації громадян за революційних світоглядних змін, сенсом яких в Україні є відтворення й остаточне формування політичної нації й громадянського суспільства. Унікальний комплекс засобів подання інформації та ненав'язливого впливу на відвідувачів, що має для соціалізації Музей, розглянуто в контексті бачення Лугманом суспільства як ансамблю циклів самореференції й аутопоезису, здійснюваних через міжособистісні та публічні комунікації. Потужність інерції міжособистісних комунікацій є вирішальною — як у просуванні нових ідей, так і в опорі їхньому впливу. Тому реформи суспільства неможливі без системних змін на цьому рівні, основним посередником для якого слугує мова. Мова визначена як основа для інших «посередників сприяння комунікаціям»: засобів збереження й передання інформації та «генералізованих посередників обміну», які все більше є продуктом публічних комунікацій. Аналізуючи зміни сучасності, які Музей має враховувати як у відносинах з аудиторією, так і у змісті своїх меседжів, ці зрушення є, на думку авторів, наслідком завершення чи «зміни знаку» різномасштабних флуктуацій соціальної й культурної динаміки, що втілюють коливання у протистоянні певних опозиційних начал. Найбільш короткоперіодичні з них в Україні втілилися у зміні євроінтеграційних настроїв та відповідних дій влади. Фрагментом найбільш тривалого протистояння можна вважати рух Людства від реалій станово-кастових суспільств, що налічують близько шести тисяч років, до ідеалів громадянського суспільства, що тільки починає формуватися. Для змін в царині філософії знаковим став рух від наративів постмодернізму до основ метамодернізму, до яких відноситься і «нова онтологія» Н. Гартмана. У статті також запропоновано оглядовий перелік ідей і наративів, якими Музей може поділитися з аудиторією. При цьому їхня змістовна складова коригується положеннями онтології Н. Гартмана, а міркування щодо можливих форм подання інформації орієнтуються, передовсім, на розуміння вікових особливостей її сприйняття Ж. Піаже.

Ключові слова: природничий музей, соціалізація, самореференція, міжособистісні комунікації, постмодернізм, онтологія.

Адреса для зв'язку: Олександр Радзівілл; Національний науково-природничий музей НАН України, вул. Богдана Хмельницького 15, Київ, 01054 Україна; Email: stishovit@gmail.com; orcid: 0000-0003-3155-6362

Вступ

Необхідною умовою тривалості суспільства у часі, збереження його самототожності й успішності — є безперервні процеси його самовідтворення. Сучасні їх характеристики оперують такими поняттями як самореференція, аутопоезис, комунікації [Lugman 2007]. Проте їх перший науково обґрунтований аналіз запропонував М. Вебер, увівши поняття «соціалізація», яке у нього означало, передовсім, засвоєння новими поколіннями суспільства комплексу знань і умінь, на основі яких формуються й відтворюються значущі для цього суспільства характеристики[1], в широкому ж сенсі означає адаптацію будь-яких членів суспільства до його базових вимог[2].

З-поміж інститутів суспільства, долучених до процесів соціалізації, Музей відіграє особливу роль, здійснюючи на відвідувачів м'який та багатоаспектний культурний вплив, в якому кожен може задовольнити власні уподобання. Міркуючи про місію столичного академічного музею як державної установи й осередку національної культури, не можна не усвідомлювати, що, з одного боку, він уособлює державну політику в царині культури, з іншого — здійснює це специфічними притаманними йому засобами, виступаючи своєрідним «резонатором» найрізноманітніших виявів людської інтелектуальної та духовної активності — ідей, смаків, способу мислення, світоглядних орієнтирів, стурбованості певним спектром актуальних питань.

[1] Вебер, М. О некоторых категориях понимающей социологии. Online: https://bit.ly/42I4qzL

[2] Велика українська енциклопедія. Online: //https://vue.gov.ua/SotsIalIzatsIya

На тлі сучасних масштабних зрушень у геополітичних реаліях та суспільній свідомості, зміст послань, які Музей може адресувати своїй аудиторії, має бути особливо чутливим до багаторівневих і багатоаспектних проявів соціальної і культурної динаміки [Mazurik 2009].

Обсяг статті не передбачає системного аналізу теми в царині музеології в цілому. Автори мали на меті лише зробити певні акценти — по-перше, на тих досягненнях соціальних наук та філософії, які слушно враховувати в роботі всіх інституцій суспільства, покликаних забезпечувати його культурне самовідтворення; по-друге, виходячи з розуміння в соціології особливостей комунікації в суспільстві під час істотних світоглядних зрушень, — проаналізувати, як комунікація Музею з аудиторією може сприяти подоланню в суспільній свідомості стану світоглядної невизначеності в цей період; по-третє, враховуючи специфіку природничого музею, зробити ілюстративний перелік тих ідей, які в новому світоглядному контексті та в новому стилі інтерсуб'єктивного спілкування може пропонувати Музей відвідувачам.

1. Самореференція, аутопоезис та комунікації як елементи соціалізації

Соціалізація є одним з аспектів «соціології розуміння» М. Вебера, яка розглядає поведінку людей як носіїв усвідомлених дій. Враховуючи й людську схильність діяти афективно, Вебер саме свідомій діяльності членів суспільства відводить ключову роль у його формуванні й самовідтворенні в процесах соціалізації. Особливості певних колективних утворень — держави, нації, окремої родини чи акціонерного товариства — це, за Вебером, передовсім, певний відтворюваний тип поведінки, сформований і підтримуваний на основі відповідних світоглядних орієнтирів. Характеризуючи суспільство як «спільне світоглядне поле», Вебер наголошує на його обумовленості спільними уявленнями будівничих цього суспільства, — уявленнями, що мають вирішальне значення для їх усталеної, невразливої від руйнівних впливів, солідарної діяльності.

Розуміння природи соціалізації істотно поглиблюється з другої половині XX ст. на основі нової хвилі залучень до проблем соціології — знань з біології та психології. Так, спираючись на роботи біологів Умберто Матурани і Франсіско Варели [Maturana & Varela 2001], соціологи з'ясували базові умови забезпечення суспільством своєї тяглості у часі, а також особливості його соціальної і культурної динаміки, тобто мінливості без втрати самототожності.

Зокрема, дослідивши один з найважливіших аспектів самовідтворення суспільства — виховання підростаючого покоління — соціологи Пітер Берегер і Томас Лукман дійшли висновку, що період, упродовж якого завершує своє формування дитячий організм, є й періодом його самоусвідомлення, тобто формування його «Я». Особливості становлення базових елементів характеру й організму дитини визначаються її середовищем, передовсім, соціальним. Успішність розвитку дитини обумовлена належним рівнем її взаємодії зі своїм соціокультурним порядком, опосередкованим для неї «значимими іншими», котрі за неї турбуються й несуть відповідальність. Саме «значимі інші» стають першими живими взірцями в комунікаціях, з якими та, орієнтуючись на які, дитина формує свій характер [Berger & Lukman 1995: 81].

Відомий соціолог Ніклас Лугман, розвиваючи ідею Ф. Матурани, що біологічні й соціальні системи існують за рахунок їх постійної роботи з двоєдиного процесу — самореференції (розрізнення себе й свого довкілля) і самовідтворення (аутопоезису), —який розглядає суспільство як комплекс таких циклічно повторюваних операцій, що в соціальних системах здійснюються через комунікації. Генералізований процес безперервного формування суспільства забезпечує безліч циклічно відтворюваних інтерсуб'єктивних комунікацій, кумулятивним ефектом від яких постає й формування публічних комунікацій[3].

При тому, що в історії й сучасності відома безліч суспільств, які тривають за рахунок «виробництва комунікацій з комунікацій», виникнення останніх є, на думку Н. Лугмана, досить

[3] Лугман, Н. Понятие общества. Online: https://gtmarket.ru/library/articles/2969

маловірогідним. Йому протидіють три «умови неможливості комунікації», з яких, кожна наступна діє після подолання попередньої: а) неспроможність одного індивіду зрозуміти іншого через особливості їхньої організації; б) неприйняття повідомлення через небажання адресата комунікувати з відправником; в) неуспішність вже прийнятої й зрозумілої комунікації — через негативну реакцію адресата на її зміст[4]. Виходячи з розуміння природи як «подолання неможливого», Н. Лугман розглядає історичний процес (соціокультурну еволюцію) як розвиток засобів подолання неможливості комунікації. Він показує, як історичний поступ сприяє поширенню й посиленню дії таких «умов неможливості», активізуючи при цьому, й створення все більш ефективних засобів їх подолання. Якщо у простих суспільствах діє «природна» саморепрезентація, що реалізується всіма його членами через мережу рівноправних комунікацій, шляхом їх вільного продукування, то в більш складних стратифікованих (станово-кастових) суспільствах, де стає маловірогідною загальна солідарність і самоідентичність, формуються спеціальні засоби їх підтримки і впроваджується «безконкурентна репрезентація», що втілює нав'язану усьому суспільству точку зору привілейованих верств, а з нового часу, з усвідомленням вад останньої, — формується ідеологія, покликана, в умовах динамічних соціокультурних змін, замінити традицію.

В даному випадку й далі йдеться про вузьке тлумачення ідеології, як ретранслятора, в межах нового часу, раціонально згенерованих ідей. В широкому ж тлумаченні ідеологіями виступають будь-які концептуальні системи, що цілеспрямовано — через міжособистісні й публічні комунікації — впливають на масову свідомість.

Ідеології, як підмножина, входять до множини «концептуальних систем» — тривалих у часі, складних, відкритих, динамічних — систем нематеріальної природи. Концептуальні системи слугують для суспільств носіями й джерелом констант ідеальної реальності, в силу своєї «неідеальності», транслюючи їх фрагментарно й деформовано [Hartmann 2003: 112]. Віками й тисячоліттями слугуючи резонатором мотивацій для індивідуальних свідомостей і орієнтиром для самореференції спільнот, концептуальні системи, в свою чергу, здатні, як і будь-які складні мультирівневі системи, до саморегуляції, навчання, обміну з середовищем та регенерації.

Н. Лугман, зокрема, вказує на здатність ідеологій формувати власні «захисні засоби» від критики. В якості «засобу загального застосування», він вказує на обґрунтування і введення табу на комунікації «з приводу основного питання», навколо якого відповідна ідеологія вибудовується. Прикладом таких табу є питання походження прибутків у суспільствах «раннього капіталізму» чи витіснення в Україні української мови — з публічних, а поступово, — і з міжособистісних комунікацій. Враховуючи тривалу інерцію панівних наративів, сформованих тією чи іншою ідеологією, — і перша, і друга проблеми залишаються актуальними й для сучасного українського суспільства. Зрештою, в якості найбільш радикального засобу самозахисту, ідеологія набуває статусу «єдино вірного вчення» в тоталітарних режимах, спрощуючись до стану безконкурентної репрезентації, але зі значно ефективнішим арсеналом впливу на суспільну свідомість.

Ліберальним суспільствам нового часу поступово вдалося інституціалізувати співіснування і взаємостримування двох опозиційних ідеологій, які, на думку Н. Лугмана, кумулятивно, на рівні публічних комунікацій, репрезентують два протилежні типи індивідуальної реакції членів суспільства на поточні зміни: консервативний тип втілює «тавтологічна» ідеологія, реформаторський тип — «парадоксальна» ідеологія. Перша виходить з того, що «суспільство є таким як треба, і не слід нічого міняти», друга — що «суспільство не є таким як треба, і потребує істотних змін», в останньому випадку ідеологія виходить з того, що питомі зміни — революційно чи еволюційно — реалізують те, чим суспільство має бути[5].

[4] Лугман, Н. 2000. Невероятность коммуникации. Online: https://gtmarket.ru/laboratory/expertise/297
[5] ibidem

Крім того, у розвинених ліберальних суспільствах повномасштабно діють і розвиваються «посередники обміну» — інституціалізовані складові культури, які сприяють успішності комунікацій, зазвичай, прямо чи опосередковано просуваючи наративи домінантної ідеології. Їх виділяють у три категорії.

Первинним і базовим посередником, виділеним в окрему категорію, є мова в її найширшому сенсі (включаючи всі невербальні форми спілкування), яка забезпечує єдність розуміння між учасниками комунікації, слугуючи основою будь-яких більш спеціалізованих «посередників обміну».

Друга категорія — «посередники поширення» — охоплює, крім засобів масової інформації, письмо та інші форми фіксації й збереження інформації (ЗМІ, мережі тощо). Вони мають важливий селективний вплив на культуру, розширюючи на порядки обсяги колективної пам'яті та вибірково обмежуючи її в цілях відбору комунікацій, релевантних саморепрезентації суспільства.

Третю категорію утворює найбільш спеціалізований, різноманітний і динамічний комплекс засобів, названих Т. Парсонсом «символічно генералізовані посередники комунікації», до яких він відносить гроші, владу, вплив і ціннісні орієнтації, а Н. Лугман додає істину — для системи науки та любов — для інтимних стосунків. Спираючись на дві попередні групи, вони у більшості випадків і є кінцевими реалізаторами мети комунікацій у відповідному секторі суспільних відносин.

Значні соціальні зміни Н. Лугман розглядає як певний кумулятивний ефект від утворення й розвитку нових видів інтерсуб'єктивних комунікацій, які соціальна система для збереження своєї незмінності зазвичай намагається блокувати через свої «консервативні» комунікації. Якщо нові види комунікацій здатні оформитися в підсистему, вона постає як опозиційна соціальній системі, з якої виокремилася, тобто стає реформаторською. Загалом, протистояння тавтологічної й парадоксальної саморепрезентацій може втілюватися — у різноманітних опозиційних парах і, досить тривалий час, — без істотних для суспільства наслідків. Лише при максимальному загостренні соціальних протиріч їх кумулятивна опозиційність стає очевидною і виступає рушійною силою значних соціальних змін.

В періоди істотних зрушень у колективній свідомості суспільства, які при більш детальному огляді виявляються різновекторними, різноінерційними та різного ступеню незворотності й надійності, завданням публічних установ стає всебічне сприяння їх солідаризації та швидкій і найменш болісній адаптації до «нововиявлених обставин» в царині світових досягнень. При цьому важливо усвідомлювати, що реальний рух суспільства до нових світоглядних орієнтирів можливий лише за істотних змін на рівні міжособистісних комунікацій, чому меседжі, що транслюються через публічні комунікації, — можуть лише сприяти чи шкодити.

За Гартманом, у міжособистісному спілкуванні задіяно, переважно підсвідомо, весь комплекс емоційно-трансцендентальних актів[6] та вкорінених через них звичок, ціннісних і світоглядних установок, включаючи й психологічно обумовлені табу на будь-які зміни [Hartmann 2003: 434]. Н. Лугман також звертає увагу на потужну інерцію інтерсуб'єктивних комунікацій, основу яких складає мова в її найширшому тлумаченні. Тому міжособистісне спілкування виявляється вирішальним як у просуванні нових світоглядних ідей, так і в організації запеклого опору їхньому впливу. Отже, коли держава намагається впроваджувати реформи виключно на публічному рівні, вони, очікувано, блокуються на рівні консервативних міжособистісних комунікацій. Наскільки ефективно можуть діяти публічно згенеровані комунікації через міжособистісне спілкування — продемонструвала гібридна війна проти України РФ до повномасштабного вторгнення останньої, коли саме у міжособистісних контактах через десятки

[6] Виділений Н. Гартманом комплекс «позараціональних» вражень (захват, стурбованість, страх, очікування тощо), які потенційно несуть в собі зародки пізнання, але можуть залишатися на рівні підсвідомих емоцій і мотивацій.

тисяч «агентів впливу» держави-агресора свідомо чи «всліпу» транслювалися розроблені у компетентних органах РФ, наративи, руйнівні як для українського суспільства, так і для всіх усталених норм цивілізованого громадського життя.

2. Зміни в суспільній свідомості та виклики сучасності

Українське суспільство в умовах протистояння агресору переживає стрімкі світоглядні зміни, сенс яких все глибше усвідомлюється ним як відтворення й остаточне формування української політичної нації та розбудова українського громадянського суспільства. Хоч «точка неповернення» цих зрушень пройдена Україною лише впродовж останнього року повномасштабного вторгнення РФ, трансформація українського суспільства відбувається з кінця XX ст., коли весь «пострадянський простір» охопив суспільний рух за відмову від репресивної системи управління СРСР. Згодом, однак, флуктуації суспільних настроїв призвели до посилення протилежних мотивів, з певною їх специфікою для кожної із суверенних держав. Зокрема, у РФ відбулася очевидна реанімація — як стилю взаємин з підкореними народами й сусідніми суверенними державами, характерного для Російської імперії, так і всевладдя репресивних органів, властиве СРСР. Як наслідок, вона безкарно здійснила низку вторгнень у сусідні держави, наразившись, зрештою, на нищівний спротив України, який має стати вирішальним у падінні путінського режиму й розвалі самої РФ.

В Україні подібні флуктуації втілилися, передовсім, у коливаннях євроінтеграційних настроїв та у чергуванні президентів, за періоди повноваження одних з яких, рухи в бік інтеграції України у цивілізований світ посилювалися, за правління ж інших — гальмувалися. Російсько-українські відносини цього періоду показали, що держава, яка цілеспрямовано вкладає величезні ресурси у ведення гібридної війни, може за відносно короткий термін здійснити масштабну ідеологічну обробку «населення», навіть коли його вже розділила лінія фронту, утвореного протиправними діями держави-агресора. Цьому, принаймні до повномасштабного вторгнення, чимало сприяла як загальна бездіяльність влади держави-жертви агресії у справі забезпечення солідарності суспільства й національної безпеки, так і «одномірність» свідомості значного масиву «пересічних» громадян обох держав, не налаштованих критично оцінювати споживану інформацію.

Загальну ж сучасну дестабілізацію міжнародного правопорядку другої половини XX ст., лише фрагментом якої стала агресія РФ проти України, можна розглянути як результат завершення чи зміни знаку кількох різнопорядкових історичних процесів значно більшої тривалості, однією з найважливіших характеристик яких є різномасштабні флуктуації певних аспектів соціальної й культурної динаміки [Sorokin 2006: 97]

Наймасштабніша «зміна знаку» втілюється у багатоаспектному й різноінерційному русі Людства від реалій станово-кастових суспільств — до ідеалів громадянського суспільства, який триває впродовж усього нового часу. Станово-кастовий устрій, характерний для суспільств «епохи цивілізації», що налічує близько шести тисяч років, як відомо, узвичаїв спадкову нерівність та відповідний світогляд, побудований на «суб'єкт-об'єктному» відношенні панівних верств до підвладного населення. Суспільні відносини цієї епохи формувалися під тиском жорстких вимог організації суспільств все більшої складності, що потребувала все більших ресурсів, акумуляція яких забезпечувалася політичним та ідеологічним насильством та максимальною дегуманізацією суспільних відносин. Гоббсова «війна всіх проти всіх», як метафора стану людства в цю епоху, поширюється й на відношення людини до природи: остання вже не сприймається з, характерною для суспільної свідомості попередньої «епохи родоплемінних відносин», належною пошаною — як персоніфіковане різноманіття джерел існування й добробуту, а перетворюється на об'єкт підкорення й необмеженої експлуатації. Експансія тоталітарних ідеологій остаточно закріпила сакралізацію такого світогляду, сприяючи витісненню з людської свідомості й відчуття власної правосуб'єктності, підпорядкувавши її незбагненній вищій волі, від імені якої можуть віщувати й діяти лише уповноважені на

це особи, власні характеристики яких залишаються поза контролем підвладного населення. Глухим кутом та кінцевим продуктом такого стилю відносин стала й «одномірна» людина індустріального суспільства.

З-поміж флуктуацій соціальної та культурної динаміки менших масштабів особливо злободенними видаються чергування періодів відносної впорядкованості й відносної хаотичності, зміна знаку між якими прив'язана до кількох десятиліть на межі століть, коли внаслідок послаблення системотворчої дії «раціональної складової» природи людини відбувається різке вивільнення її «стихійної складової». Таке швидке рекурсивне взаємопосилення зростання ентропії у міжособистісних комунікаціях та колективних настроях суспільств є втіленням одного з варіантів «самоздійснюваних пророцтв» [Karlsen 2004: 113], причиною яких може бути як втрата авторитету світоглядних, моральних, правових та інших системотворчих для суспільства чинників попереднього століття, так і фундаментальна потреба людської натури — свідомо чи підсвідомо — періодично «змінювати галс», даючи, на певний час, волю своїй стихійній складовій.

«Зміна знаку» на межі століть накладається на відносно тривалішу «зміну знаку» масової свідомості в незахідних суспільствах після кількасотлітнього періоду «одномірної» їх вестернізації. Ці зміни супроводжуються активним пошуком джерел власних традицій і, хоч відновлення їх самобутності має, зрештою, стати важливим кроком до солідарного поліцивілізаційного й мультикультурного міжнародного співтовариства, сучасний їх стан демонструє, переважно, традицію одномірного тоталітарного мислення, виявляючи непримиренність до будь-яких інших точок зору і часто зводячись до примітивного опору «всьому західному».

Західна ж філософська думка, усвідомивши негативні наслідки «одномірного» світогляду людини індустріального суспільства і, загалом, покінчивши з ним, пережила бурхливий період рефлексії та ревізії всієї системи знань нового часу — під гаслами постмодернізму, а нині, розчарувавшись в останньому, перебуває у пошуку оновлених негентропійних світоглядних орієнтирів[7].

Постмодернізм став завершальним етапом у комплексі світоглядних зрушень, пов'язаних з, можливо, останньою в низці «наукових революцій» нового часу — в науках про людину й суспільство. Її найвища інтенсивність припадає на кінець XIX і все XX ст., але основи її закладено ще в «критиках» І. Канта, який, дослідивши властивості людської свідомості, забезпечив подальший розвиток багатьох напрямків філософії, а також емпіричних досліджень, зокрема психології, антропології, лінгвістики тощо, внаслідок яких, в центрі уваги соціальних моделей і прогнозів постала людська особистість з її мотивами, волею та психофізичними властивостями.

Суспільство і його історичні зміни почали усвідомлюватися як множина взаємодій індивідуальних мотивацій (як це показано вище, на прикладі робіт Н. Лугмана), а позитивістський підхід в юриспруденції, що єдиним джерелом права визнає лише державу, — істотно потіснили соціологічні концепції (зокрема, психологічна, аутопоетична, комунікативна), де джерелом права визнано індивідуальні інтереси та мотиви, вербалізовані та легалізовані — у колективних правилах суспільного договору. Поступово формується й новий стиль інтерсуб'єктивних та публічних комунікацій: держава розглядається як інструмент суспільства, в якому діяльність публічних служб підпорядкована принципам «людського виміру» та «дружнього публічного середовища», в соціальних програмах визнається пріоритет процесуальних правил, замість наказного характеру постановки цілей та їх безоглядного виконання, а «мережевий» стиль комунікацій, з забезпеченням належними умовами самих виконавців, при оперативній взаємокореляції їх дій, — витісняє практику необґрунтованих витрат ресурсів суспільства на органи, що виконують суто керівні функції. Натомість у міжособистісних відносинах

[7] Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Postmodernism

посилюється протидія насильству, харасменту, об'єктивації та іншим формам дегуманізації, обумовленим інерцією суб'єкт-об'єктного стилю взаємин.

В царині світоглядних зрушень філософія постмодернізму постає «антитезою» генеральній зорієнтованості науки нового часу на створення цілісної «наукової картини світу». Замість видавати бажане за дійсне, постмодернізм «легалізував» реальну фрагментарність наукових знань, втілену в тому, що безліч проблем в наукових дослідженнях залишається «зависати» без остаточних рішень, чекаючи нових фактів і гіпотез. В контексті його принципів, система знань постає як динамічна мультирівнева система питань різного ступеню узагальнення, для яких нормальний стан — постійно конкретизуватися, уточнюватися, верифікуватися тощо. Це, в свою чергу, виявило певну інерцію індивідуальних мотивацій широкого загалу науковців, втілену, зокрема, у їх схильності беззастережно проголошувати істину, замість перебувати в режимі постійного робочого її моніторингу, як то потребує пізнання загалом і наука, зокрема.

З іншого боку, в негативних своїх аспектах, постмодернізм виявився каталізатором зростання ентропії у світоглядних та морально-етичних орієнтирах. Домінантним стилем міжособистісних відносин у постмодерному контексті — стала гра, іронія, гнучкість правил. Подібне «заграваннz з хаосом» сприяє світоглядній дезорієнтації, масовій появі на соціально значимих посадах — функціонерів, ненадійних як з моральної, так і з фахової точок зору, істотному зростанню загальної непередбачуваності подій та зниженню довіри суспільства до публічних інституцій.

Усвідомлення негативного впливу наративів постмодернізму на надійність повсякденного життя активізували пошуки нових світоглядних орієнтирів, які б сприяли зниженню темпів зростання ентропії в суспільних настроях. Скоріше як запит, ніж як змістовна концепція, в останнє десятиліття поширюється ідея метамодернізму (постпостмоденізму) [Farrell 2017: 9]. Знаковим явищем в цьому русі стало усвідомлення ідей Н. Гартмана, який повернув у систему знань онтологічний підхід до співвідношення буття і свідомості [Hartmann 2003].

Три основні групи поглядів на зазначене співвідношення утворюють у своїй послідовності діалектичну тріаду: наївне відношення до буття; рефлексивна філософія і нова онтологія Гартмана. Наївне або природне бачення буття (теза) базується на переконанні, що наша свідомість здатна сприймати реальність такою, якою вона є. Тож ті феномени та ноумени, які вона формує з приводу нашої взаємодії з буттям, відповідають дійсності, і закони, які ми виводимо, на основі досвіду спостережень та експериментів, —є відображенням об'єктивної реальності.

Рефлексивна філософія (антитеза) виходить з того, що наша свідомість працює за власними законами, постійно продукуючи ідеї. Реальність же діє як збудник її активності, тобто може не відповідати конструктам, утвореним свідомістю: отже закони, які ми виводимо, приписуючи їх об'єктивній реальності, можуть виявитися лише відгуком на нашу потребу в системності та впорядкованості, а в реальності вони можуть не діяти.

«Нова онтологія» Н. Гартмана (синтез) повертається до, характерної для «наївного» пізнання, впевненості, що людська свідомість здатна пізнавати об'єктивну реальність, збагативши цей підхід досвідом, набутим рефлексивною філософією. Вона виходить з того, що наша свідомість діє за власними законами, але здатна відображати об'єктивну реальність, яка дається нам фрагментарно через явища матеріального освіту — як деформації чи суперпозиції «ідеальних законів». Те, що свідомість поступово здатна осягати ідеальні закони, підтверджують математичні співвідношення, закони симетрії та гармонії тощо. З цієї точки зору, глобальний процес пізнання Людством Буття —видається зустрічним рухом і постійною кореляцією між робочими ідеальними моделями — з одного боку, та дослідженням фактичного матеріалу — з іншого.

Як наголошує Гартман, онтологічна налаштованість на сприйняття об'єктивної реальності, на відміну від суб'єктивного ідеалізму, до якого схильні міркування рефлективної філософії, — є не продуктом теоретизувань, а фундаментальною властивістю природи Людини,

основою природного пізнання, вкоріненого в емоційно-трансцендентних актах і життєвому контексті, та необхідною умовою наукового (природничого) пізнання [Hartmann 2003: 162].

Н. Гартман розглядає феномени явлення Буття Людині у вигляді ієрархії трьох їх категорій, з яких кожна наступна виділяється як особливий випадок в межах попередньої категорії: 1) феномени життєвого контексту; 2) феномени емоційно-трансцендентних актів і 3) феномени пізнання [Hartmann 2003: 347]. Феномен життєвого контексту — це будь-які аспекти буття, які стосуються чи можуть стосуватися людини: їх тотальний і комулятивний вплив складає тло всього того, що більш чітко сприймається на рівні емоційно-трансцендентних актів та актів пізнання [Hartmann 2003: 349]. Зазначаючи, що лише наука почала займатися виділенням пізнання з-поміж, значно більш вкорінених в людській природі, категорій емоційно-трансцендентних актів, Гартман характеризує таке «чисте» пізнання як найбільш об'єктивне та єдине неемоційне — з-поміж всього масиву останніх. Всі інші трансцендентальні акти мають ознаки емоційної активності, енергії боротьби, присутності ризику, страждань, враженості, в яких аспект чистого пізнання теж органічно присутній, але не виділений і неусвідомлений. З іншого боку, чисте пізнання, як явище, похідне від емоційно-трансцендентальних актів, є досить вразливим перед скепсисом, що постійно продукується раціональним мисленням в сукупності з іншими продуктами свідомості [Hartmann 2003: 379], яка з однаковим ентузіазмом здатна продукувати — як геніальні прозріння для майбутніх відкриттів, так і химери, що заводять на манівці суб'єкта пізнання.

Характеристика Гартманом пізнання базується на протиставленні пари: *existentia* (суще) — *essentia* (сутність). *Existentia* — це те, що «схоплюється» людиною при будь-якому «першому контакті» з реальністю, переважно в емоційно-трансцендентальних актах, тобто до підключення свідомого пізнання: це «схоплене» він характеризує модусом «Ось-буття». Натомість, essentia — це знання, що формується вже в процесі пізнання, воно виявляється в модусі «Так-буття» [Hartmann 2003: 230]. Ці «модуси буття» необхідно розрізняти в кожний момент досліджень і теоретичних узагальнень: з одного боку, «цілісно схоплене» і визначене без деталізації «Ось-буття», з іншого — те, що є конкретним і дослідженим на певну сутнісну глибину, в межах досяжного «калібру дослідження» — «Так-буття».

Відношення *essentia* і *existentia* та відносини Так-буття і Ось-буття, частково перекриваючись, характеризують протилежність таких «способів» буття, — як матеріальність та ідеальність. Розуміння Гартманом реальності є одним зі світоглядних аспектів його онтології. Він визнає реальність буття не лише за матеріальними об'єктами. На його думку, Людина осягає реальний світ як — єдність пов'язаних і переплутаних живих і неживих утворень, матеріальних і духовних процесів. Однак лише матеріальні процеси здійснюють грубий нав'язливий вплив на людину, «вражаючи» її в буквальному сенсі, тоді як елементи духовного буття, проявляючись у феноменах матеріального світу фрагментарно, можуть бути відтворені лише спеціальними засобами пізнання, узагальнено визначеними ще Платоном як «друга навігація» [Hartmann 2003: 491]. Як приклад, характеризуючи ідеальне буття «об'єктивного духу» в розумінні Гегеля, Гартман зазначає, що це буття дуже відомих і важливих предметів: мови, права, звичаїв, етики, мистецтва, релігії, історії, кожен з яких втілює певний модус духовної реальності. Поточне завдання онтології — їх системне взаємоскоординоване дослідження в контексті загального завдання онтології — розуміння сущого як такого [Hartmann 2003: 548].

3. Можливі ідеї й наративи в комунікаціях природничого музею з аудиторією

Музей, як багатоаспектна й багаторівнева система комунікацій з аудиторією, виконує різноманіття соціально значущих функцій [Vaydaher 2005]. Для природничого музею пріоритетними є скоординовані просвітницька й науково-дослідна діяльність [Zagorodniuk 2019], особливо актуальні у зв'язку з необхідністю відновити у суспільній свідомості природничий аспект світоглядної основи, істотно знецінений — як дегуманізованим технократичним стилем

мислення індустріального суспільства двох минулих століть, так і, відносно короткоперіодичним, — розчаруванням широкого загалу в науці та спонтанним його «бунтом проти розуму», в розумінні К. Поппера. Разом із тим, має відновитися й онтологічне відношення до буття, перевагу якому природничі науки зберегли і в період домінування рефлективної філософії та, пов'язаних з нею, схильних до суб'єктивного ідеалізму, — наративів постмодернізму.

Робочий термін «популяризація», традиційно вживаний стосовно діяльності Музею, можливо, втілює дещо застарілий сенс цього вкрай важливого аспекту його просвітницької місії, яка полягає у постійній праці з підтримки належного рівня освіченості все нових і нових поколінь суспільства. Походження від кунсткамер та інших колекцій, покликаних, передовсім, вражати відвідувачів якимось незвичним видовищем, часто без будь-якого виховного гуманістичного підтексту, — не завадило Музею, як соціальному інституту, стати провідником знань і потужним виховним чинником. У розвинених державах Музей давно став частиною культурного середовища, а періодичне його відвідування — важливим елементом соціалізації.

Для суспільства, що швидкими темпами змінює свої світоглядні орієнтири, продумана музейна політика може ефективно сприяти соціалізації на оновленій світоглядній основі — не лише підростаючих поколінь, але й дорослих громадян. На часі, вочевидь, і розробка, на основі сучасних досягнень інформатики, психології та інших дотичних галузей, — спеціальних програм для дорослих, молоді, дітей різних вікових категорій, де були б враховані інтереси й мотивації кожної з таких категорій. Звичайно, такі завдання можуть бути реалізовані тільки за умов активної підтримки з боку держави та громадянського суспільства.

Відповідно до цієї місії, слушно проаналізувати, з одного боку, — умови подання інформації, тобто, які «посередники комунікації» може ефективно застосовувати Музей, з іншого боку, — меседжі, які він може посилати відвідувачам, здійснюючи свою просвітницьку діяльність.

Аналізуючи форми подання інформації, важливо враховувати закони герменевтики, яка, в контексті трьох «умов неуспішності комунікації» Н. Лугмана, може тлумачитись як наука про успішність комунікації, оскільки основний масив вражень, що отримує відвідувач, є результатом його співтворчості з працівниками Музею. Здійснюючи просвітницьку діяльність в стилі інтерсуб'єктивного спілкування, Музей відрізняється від системи освіти, передовсім, своєю ненав'язливою експозиційністю, яка не передбачає жодного контролю за ефективністю сприйняття інформації відвідувачами. Музей подає інформацію в режимі потенційного діалогу з аудиторією, особливу увагу приділяючи дітям, заради яких, у більшості випадків, і здійснюються сімейні відвідини Музею [Muraviova 2018: 112]. Крім того, цілком усвідомлюючи, що сучасний освітній процес теж має досить різноманітні можливості подання інформації, слід враховувати перевагу Музею в тому, що від початку свого становлення, він зорієнтований на різноманіття засобів «враження» відвідувача.

Термін «*враження*» видається досить адекватним для характеристики взаємодії Музею з аудиторією. «Вплетеність у контекст життя», в її розумінні Гартманом, є первинним і органічним для процесу пізнання, являючи собою всю сукупність впливу, більшу частину якого людина сприймає підсвідомо й емоційно, будучи лиш потенційно спроможною — одразу ж або згодом — конкретизувати його і в процесах «чистого» пізнання [Hartmann 2003: 462].

Це особливо важливо враховувати стосовно дітей, які до певного віку не здатні до пізнавальної діяльності. Для кращого розуміння цієї тези варто звернутися до робіт Ж. Піаже, який розрізняє три категорії «структур», відповідальних за розвиток у дитячому віці здатності мислити: успадковані органічні структури (інстинкт) і дві, набуті в процесі розвитку, — «сенсо-моторні» та «репрезентативні» структури. Власне інтелект починає формуватися у дітей по завершенню сенсо-моторного періоду в 1,5–2 роки, після чого дитина проходить чотири основні етапи подальшого становлення інтелекту: перший охоплює інтервал від 1,5–2-х до 4-х років, коли з появою у дитини символічної функції, що лежить в основі засвоєння мови,

у неї розвивається символічне допонятійне мислення. В період від 4 до 7–8 років, на основі останнього, утворюється інтуїтивне (наочне) мислення. Від 7–8 до 11–12 років формуються операціональні угруповання мислення, які фрагментарно можуть «схоплювати інтуїтивно» окремі об'єкти та маніпулювати ними. Зрештою, від 11–12 років та впродовж всієї юності — відбувається становлення формального мислення, угруповання якого характеризують зрілий рефлексивний інтелект [Piazhe 2003: 109–111].

Отже для дітей, що відвідують Музей, шлях до пізнання починається з «включеності в контекст життя»: це первинна даність, тобто той культурний ландшафт, яким на кілька годин стає для дитини Музей. Навіть не набуваючи знань в цей момент, діти залишаються «враженими» в тому сенсі, що їхня пам'ять, фантазія, гра — раз по раз буде повертатися до теми Музею та окремих його фрагментів, сприяючи формуванню прагнення періодично повертатися до нових безпосередніх вражень від нього та підкріплювати їх все більш глибокими міркуваннями. Тож для Музею важливо так оформлювати експозиції, щоб надавати дітям можливості отримувати найрізноманітніші враження емоційно-трансцендентального характеру — бігати від експонату до експонату, вивільняючи зайві емоції, жваво обмінюватися враженнями, доторкатися до експонатів, включатися в гру з активного пошуку визначених наперед експонатів (як це відбувається в інтерактивному спілкуванні з дітьми науковця, популяризатора і екскурсовода пана Олексія Коваленка) і т. п. Крім того, дітям часто значно важливіше — висловити власну точку зору, ніж почути пояснення екскурсовода, при цьому, безумовно, отримавши в його особі уважного слухача й співрозмовника. Отже, навіть коли діти не дослухаються до слів останнього, — на тлі комплексності подання матеріалу, починаючи з самої події виходу в Музей, — вони долучаються до різноманіття вражень, частина з яких стає основою їх пізнавальної діяльності.

Саме міжособистісні комунікації є найбільш ефективним і тривким аспектом соціалізації, тож враження на відвідувачів здійснює і охоронець, і працівник гардеробу, і кожен з персоналу, хто залучений до комунікації з ними. Цю роль посилює та обставина, що відвідини Музею для переважної більшості людей — виявляються неординарною подією, на тлі рутинного повсякдення, що потенційно підвищує у них гостроту вражень та активізує їхню уяву, а кожного працівника Музею робить для них «значимим іншим» в розумінні П. Бергера і Т. Лукмана [Berger & Lukman 1995: 52].

На думку останніх, людина усвідомлює світ, сконструйованим з множини реальностей, серед безлічі яких, існує одна привілейована — реальність повсякденного життя, де здійснюється постійна її рутинна взаємодія з іншими людьми. Природа людини потребує періодичного перебування в інших реальностях, проте реальність повсякдення настільки нав'язує себе, що для «перемикання» на будь-яку іншу реальність людина повинна докладати спеціальних зусиль. Такі переміщення людини з однієї реальності в іншу можуть викликати у неї певний шок, але й сприяють загостренню сприйняття інформації, відповідно до основного психофізичного закону Вебера-Фехнера [Reale & Anticery 2003: 241]. Як приклади переміщень з повсякденної реальності в іншу, П. Бергер і Т. Лукман називають переключення вченого — від експериментальної на теоретичну установку, виходи в театр чи на природу, святкові події тощо [Berger & Lukman 1995: 47].

Таким «переходом» є й відвідини Музею. Як і Театр, Музей, здійснюючи на відвідувачів кумулятивне враження, починає комунікувати з ними — навіть не «з вішалки», а (стосовно ННПМ НАН України) з ландшафтної композиції «Кам'яний сад» перед фасадом Музею (рис. 1). Крім того, на нашу думку, вдале структурне розташування експозицій передбачає, в ході руху відвідувача, порівневе його ознайомлення — від геологічної основи, через історію коеволюції біосфери і поверхні планети — до сучасних царств тварин і рослин.

У загальному випадку, Музей як соціальний інститут виконує місію транслятора досягнень науки, яка переживає чергові «революційні» зміни [Drew 2011]. В умовах динамічних зрушень

Рис. 1. Фрагменти експозиції «Кам'яний сад»: (*a*) вигляд центральної частини музейної експозиції просто неба «Кам'яний сад»; (*b*) пояснювальний стенд; (*c*) унікальна брила пісковику з відбитками *Nemiana simplex* Palij знайдена та доставлена В. М. Палієм — автором назви проблематичних організмів едіакарського періоду докембрію (приблизно 555–560 млн. років тому) з кар'єру біля с. Бернашівка у Вінницькій області; (*d*) валун палеогенового пісковику завдяки геологічним процесам (вивітрювання та ерозія) набув подоби голови кам'яного велетня.

Fig. 1. A fragment of the outdoor exhibition 'Stone Garden': (*a*) a general view of the central part of the exhibition; (*b*) explanatory board; (*c*) a unique block of Ediacaran sandstone (geological age ca. 555–560 My) with imprints of *Nemiana simplex* Palij found and delivered to the Museum by the author of its scientific description Volodymyr Palij from a quarry near the village of Bernashivka, Vinnitsa Oblast; (*d*) a boulder of Palaeocene sandstone resembling a head of 'a stone giant' due to geological processes (weathering and erosion).

в науці — і на рівні світогляду, і на рівні стилю мислення, і на рівні конкретних профільних питань — адекватною для спілкування працівника музею з відвідувачами може бути роль не стільки просвітника, скільки співучасника процесу пізнання, що відкриває величезний спектр можливостей. Стає прийнятним подавати не лише загальновизнані й добре перевірені теорії (яких в природничих науках не занадто й багато), але й розглядати, в стилі обговорення, альтернативні погляди чи допустимі точки зору. Від екскурсовода це, безумовно, вимагає готовності відповідати на питання співрозмовників, вислуховувати їхні версії тлумачень тих чи інших феноменів, які можуть виявитися як новими і дуже цікавими, так і продуктом некритичного сприйняття інформації з мереж. Саме такі ситуації дозволяють сприяти розвитку смаку й розбірливості у прийнятті чи неприйнятті наукових теорій, з якими ознайомлені відвідувачі, інтуїтивного відчуття слушності чи безглуздості інформації, що ними транслюється.

Однак, предметом цієї статті є можливості природничого музею передусім у процесах соціалізації українського суспільства в умовах його трансформації з «пострадянського». При швидких геополітичних і світоглядних змінах, соціалізація — це, передовсім, сприяння подоланню громадянами — в цілому «перехідного» — стану їхньої колективної свідомості. Суспільна ж свідомість українців — фрагментарно й «мозаїчно» та у різних співвідношеннях — може містити наративи як нового українського, так і старого «радянського» стилю мислення

й поведінки. Останні, завдяки потужній інерції міжособистісних комунікацій, можуть проглядатися навіть у поведінці дітей та молоді, народжених набагато пізніше розпаду СРСР. Тож, не зупиняючись на досягненнях природничих наук, які для Музею становлять безпосередній предмет популяризації і мають досить системне висвітлення [Chernobay 2009; Barkaszi *et al.* 2021], здається слушним зробити огляд питань, актуальних для трансляції аудиторії саме в цей період і саме з метою сприяння їх соціалізації.

Говорячи про меседжі, які може продукувати Музей у спілкуванні з відвідувачами, слід, передовсім, зупинитися на мовному питанні. В роботі Музею, в експозиціях, в спілкуванні з відвідувачами — має дотримуватися безумовний пріоритет української мови. На тлі прагнень Москви знищити Україну, як суб'єкта світового історичного процесу, формування українського суспільства і м'яка українізація громадян України, після тривалого впливу на них імперських наративів держави-окупанта, — уявляється найважливішою місією всіх соціальних інститутів, включаючи й столичний Музей, і мова спілкування, як фундаментальний посередник комунікації, в цьому процесі має вирішальне значення. Послідовно й непохитно впроваджуючи цей принцип, Музей здійснює його з повним розумінням того, що будь-який тиск на відвідувачів може викликати спротив, внаслідок інерції міжособистісних комунікацій, в основі яких лежать психологічні, часто неусвідомлені передумови, тобто кумулятивний наслідок безлічі подій і впливів, узагальнено визначені Н. Гартманом як «життєвий контекст» [Hartmann 2003: 434]. Враховуючи, що міжособистісне спілкування відіграє провідну роль також і у формуванні нових за стилем і змістом комунікацій, — не лише екскурсовод, але й охоронець, працівник гардеробу та кожен з персоналу — стає провідником музейних меседжів, тож вони мають солідарно діяти в подоланні інерції застарілих наративів, несумісних з вибором українського суспільства. Базуючись на принципах дружнього публічного середовища та пріоритеті інтерсуб'єктивного стилю спілкування з відвідувачами, їхній вплив має бути опосередкованим, з розрахунком, скоріше, викликати у відвідувачів певний резонанс думок, поведінки, відчуття «спільного світоглядного поля», ніж нав'язати певну точку зору, але і з чітким усвідомленням того, що Музей представляє саме українське культурне середовище. Зрозуміло, що такий підхід сприймається переважною більшістю відвідувачів — як належний і єдино можливий.

З огляду на світоглядні зміни, що переживає нині все Людство, видається слушним оглянути деякі метафори й аналогії, екстраполяція котрих з біологічних, ширше природних закономірностей на соціальні — є досить усталеною традицією. Тенденція «примірювати» закономірності природи до суспільних процесів — пояснюється тим, що, з одного боку, особиста доля, зазвичай, цікавить людину більш за все, але з іншого, — людина психологічно зв'язана певними підсвідомими табу — як на втручання у своє особисте життя ззовні, так і на саморефлексію. Тому, відносно пізно наважившись на дослідженням себе самого, Людство тривалий час, вивчаючи явища природи, так чи інакше, екстраполювало їх на «наболіле», тобто — на соціальні явища.

Стиль і зміст подібних екстраполяцій теж, вочевидь, має оновлюватись. Як, наприклад, архаїчно звучать «роз'яснення» дітям (батьками чи навіть викладачами) еволюційних процесів — на кшталт: «виживає сильніший» або «вимерли, бо з'явились нові, більш прогресивні види, це ж еволюція, боротьба за виживання!». Обумовленість нашого сприйняття (включно й наукових ідей) — панівними в суспільстві світоглядними орієнтирами — доведено ще рефлексивною філософією. З огляду на це, доречно продемонструвати на матеріалах експозиції — наскільки, висловлюючись метафорично, «терплячими» виявляються «більш прогресивні» форми життя по відношенню до «попередників». Наприклад, голонасінневі, з'явившись в кінці девону, близько 370 млн. років тому, почали домінувати лише через 100 млн. років після своєї появи, внаслідок масового вимирання в пермі спороносних плаунів, хвощів і папоротей, які домінували в карбоні. Ще дивовижнішим видається еволюційне «терпіння» ссавців

(тривалістю близько 180 млн. років), предки яких з'явилися майже водночас з предками динозаврів (близько 250 млн. років тому), проте лише з палеогену, тобто з 66 млн. років тому — набули глобального поширення. Безумовно, вирішальним чинником тут виявились істотні зміни довкілля, при яких переваги голонасінневих чи ссавців забезпечили їм, у відповідні періоди, — панівне становище на планеті. Але сенс меседжу зводиться до того, що еволюція — це, переважно, тривале співіснування в біорізноманітті більш і менш досконалих форм, в якому нормою є — не масове знищення більш прогресивними формами — менш прогресивних, а їх багатовимірна взаємозалежність в біосфері того чи іншого періоду. Вимирання ж обумовлені неспроможністю вимираючих форм адаптуватися до тих зрушень, які періодично відбуваються з середовищем.

При спілкуванні науковців природничого Музею з відвідувачами важливо здійснювати ознайомлення їх з науковими ідеями без порушення їхніх релігійних почуттів. Можливо, для цього, у вигляді застереження, — слушно звернути увагу аудиторії на єдність і органічну успадкованість в історії людства всіх духовно-інтелектуальних форм його активності — мистецтва, міфотворчості, релігії, філософії, включаючи в цю послідовність і наймолодшу з них — науку, яка, перебуваючи в процесі становлення, ще потерпає від періодичних розчарувань багатьма своїми теоріями й парадигмами.

Для зацікавлених цим питанням, можна уточнити, що здатність до пізнання — є у людини успадкованою, разом з іншими елементами її біологічної природи [Maturana & Varela 2001]. Натомість, потреба свідомості «конструювати реальності», яка може бути як корисною, так і згубною, — є виключно людською властивістю. Постійна скерованість нашої свідомості на об'єкти дослідження і опанування (інтенціальність) черпає свою енергію — як з властивості всього живого до невпинної експансії, так і з суто соціального надбання — схильності нашого розуму безперервно й спонтанно продукувати ідеї, гіпотези, теорії, правила тощо. Ця «схильність» і об'єднує науку з іншими формами духовно-інтелектуальної творчості. Особливість же наукового пізнання полягає в тому, що наукові теорії, будучи продуктом свідомості, піддаються постійному моніторингу на відповідність реальності, знання про яку постійно зростає. Збільшення масиву фактичних даних, які наука цілеспрямовано накопичує й систематизує в поняттях, моделях, банках даних, створює все більш розгалужену систему знань, покликану стати надійною основою адекватної взаємодії Людства з Буттям.

З іншого боку, це зобов'язує науку бути зорієнтованою на постійну перевірку й верифікацію своїх теоретичних конструкцій. Висвітлення науки — не як чергової збірки догматів, а як динамічного процесу постійного пошуку істини й уточнення чи спростування згенерованих нею теорій — має сприяти послабленню тиску на суспільну свідомість «консервативної» її складової, активуючи її «реформаторську» складову. З іншого боку, визнаючи, що наукові теорії можуть бути хибними, важливо звертати увагу й на ті наукові відкриття, які пройшли перевірку часом, лише уточнюючись і конкретизуючись. В якості прикладів останніх, можна навести геліоцентричну модель Сонячної системи М. Коперніка, або визначення Ч. Дарвіном чинників видоутворення, що стали основою для побудови загальної моделі еволюції. Зацікавити відвідувачів може й обговорення можливих причини успішності одних теорій, на тлі неуспішності багатьох інших. З огляду на сучасне усвідомлення важливості індивідуальних характеристик учасників соціальних процесів історичного значення (включаючи й досягнення в системі знань), однією з найважливіших передумов успішності відкриття є особисті чесноти самого дослідника. Наприклад, як пише про Ч. Дарвіна, аналізуючи розвиток його теорії, Ю. Чернобай: «він усе життя шукав основні закони натуральної гармонії, до яких мало б долучитись й суспільство» [Chernobay 2009: 33].

Говорячи про основні поступальні тенденції в еволюції — зростання ефективності засобів підтримки гомеостазису, інтенсивності й енергоємності процесів метаболізму, цефалізацію, поліпшення турботи про нащадків і ті переваги, які вони дають, — слід вказувати й на інші

виміри еволюційного процесу, які, безумовно, екстраполюються й на процеси соціальної та культурної динаміки, що відбуваються навколо нас.

Динаміка життя на Землі — це не лише поступ, але й множина різнопорядкових флуктуацій, які є однією з фундаментальних характеристик природи. Наука, можливо, зможе в перспективі зробити вичерпний перелік найважливіших з цих флуктуацій і розібратися з їх походженням, ритмами й амплітудами відхилень, на сьогодні ж варто звернути увагу на їхню досить широку присутність, різномасштабність та різну природу. Вірогідно, одним з найбільш виразних проявів флуктуацій в еволюції біосфери є неспіврозмірне в хронологічному вимірі чергування періодів швидких змін, коли відбувається руйнування попереднього життєвого світу і формування нових екосистем та зв'язків в їх межах та між ними, з тривалими періодами стагнації, коли відбувається взаємна адаптація й гармонізація різних складових біосфери.

Цікавим аспектом нерівномірності еволюції є також процеси адаптивної радіації (рис. 2), модель якої Т. де Шарден визначив терміном «мутовка розгалужених форм» [Teilhard de Chardin 1955: 100]. Остання стосується ситуацій швидкого, умовно, безконкурентного заселення представниками одного таксону різних ландшафтів і екосистем, зокрема, після вимирання попередньої біоти певної території, внаслідок чого, в межах цього таксону відбувається швидке видоутворення і підвищується сам ранг таксону.

Подоланню інерції «одномірного мислення» сприятиме, на нашу думку, додатковий наголос на тому, що еволюція — це не послідовність одномірних відтинків часу, а, по-перше, розбудова нових й нових «поверхів» та вимірів, а по-друге (можливо, як наслідок першого) — рух з нелінійним прискоренням до вірогідної «точки» максимальної гармонізації всіх складових *біорізноманіття*.

Ця метафора в свою чергу тісно пов'язана з міркуваннями про співвідношення в еволюції випадковостей і детермінованості — актуальними як в теософічному, так і в науковому аспектах, оскільки вона стосується одного з фундаментальних світоглядних питань: чи наділена еволюція (а також історія) сенсом, тобто чи має її рух певну мету, чи це просто послідовність спонтанних випадків. Гартман на це питання відповідає, зокрема, таким чином: і еволюція, і історія є різнопорядковими рухами, підпорядкованими певним детермінантам, тобто закономірностям ідеальної реальності, які, однак, здійснюються через перебір випадкових обставин, взаємодій і комбінацій матеріальної реальності, деформуючи чітке виявлення детермінованості в кожний окремий момент руху, але генералізовано — приречені бути їй підпорядковані [Hartmann 2003: 555]. В якості прикладу такого цілевизначеного еволюційного поступу, можна продемонструвати — як, через безліч випадковостей, в більшості, невдалих, — природа досягає в межах пліоцену того біорізноманіття, в якому надалі відбувається формування й розвиток Людини розумної, і яке, враховуючи корективи, пов'язані зі зледенінням та хижацькою діяльністю самої людини, триває й донині.

З цього випливає генеральна органічна зв'язаність різноманіття життя нашої планети, єдність і взаємовплив розвитку біосфери і «*геологічного простору*» Землі, що сприяє усвідомленню включеності Людства в мультирівневість цих зв'язків.

Посилаючись на ідею У. Матурани, що структура кожної складної системи — це її історія у взаємодії з середовищем [Maturana 1970: 8], ми починаємо розуміти взаємозв'язок планети і природного середовища та розвитку життя в його межах як закономірний рух до появи *Людини Розумної*.

Це дозволяє зв'язати потребу відродити національну ідентичність — з вихованням відчуття просторово-природної включеності людини в історію своєї землі. «Рідний край, рідна країна, наш континент, планета — все це має сприйматися як наша природна й культурна *Спадщина*.

Усі зазначені вище меседжі пропонуються вибірково, в залежності від можливостей і налаштованості самої аудиторії, і, безумовно, паралельно і у відповідності з визначеним програмою екскурсії ознайомленням відвідувачів з наочним матеріалом, в процесі візуального «схоплення» ними інформації, зафіксованої в експонатах.

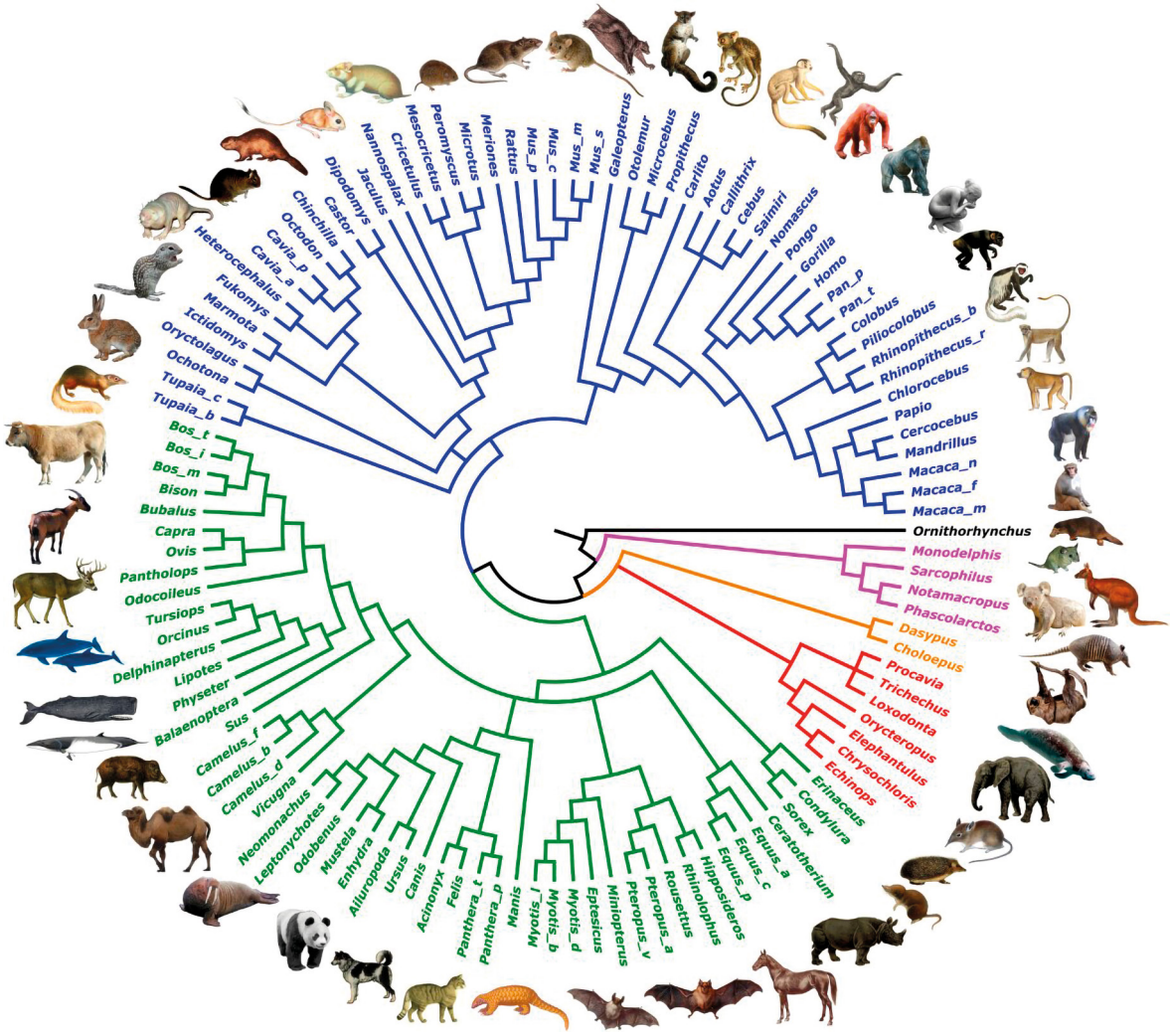


Рис. 2. Сучасне уявлення про філогенетичне різноманіття ссавців згідно зі схемою команди OrthoMaM (за: Wikimedia Commons https://shorturl.at/eghos). Основні клади позначені кольорами: однопрохідні (чорний); сумчасті (пурпуровий); ксенартрани / неповнозубі (помаранчевий); афротерії (червоний); лавразіатерії (зелений) і еуоархонтогліри (синій). Схема групи OrthoMaM,

Fig. 2. A modern view on the phylogenetic diversity of mammals according the scheme by the OrthoMaM team (Wikimedia Commons, https://shorturl.at/eghos). The major clades are coloured: monotremes (black), marsupials (magenta), xenarthrans (orange), afrotherians (red), laurasiatherians (green), and euarchontoglires (blue).

Висновки

Українське суспільство все гостріше усвідомлює необхідність — не лише перемогти ворога, але й стати цивілізованим громадянським суспільством — з верховенством права, дійсно незалежними, відповідними своєму призначенню, — ЗМІ, гідною й добросовісною службою суспільству — всіх гілок та органів влади, зміною на інтерсуб'єктивний — нині, переважно, суб'єкт-об'єктного — стилю міжособистісних відносин.

Пропустивши «за залізною завісою» важливі досягнення науки й філософії XX ст., які узагальнено можна визначити як пізнання Людини і Людства в усьому різноманітті їхніх взаємозв'язків із планетарним та навколопланетним довкіллям, ми повинні надолужити низку тих значущих світоглядних прозрінь, без яких не зможуть органічно сприйматися й умови розбудови кращих аспектів глобальної сучасності та найліпшого сценарію найближчого майбутнього Людства.

В статті зроблено спробу проаналізувати з точки зору комунікативного й аутопоетичного тлумачення суспільствотворчих процесів особливості соціалізації, в умовах, коли Україна стоїть перед вибором: або швидкими темпами адаптувати рівень свого колективного світогляду до світових здобутків, або не відбутися як самодостатній суб'єкт історично процесу, який виразно ідентифікується зовнішнім світом і власними громадянам — як в сучасності, так і в тяглості різномасштабних історичних процесів.

Попри те, що Музей, як соціальний інститут, відіграє одну з провідних ролей в процесах соціалізації, його досвід зорієнтований, переважно, на відносно спокійний стан суспільства, без врахування специфіки тих періодів, коли воно потребує істотних світоглядних змін. Після тривалого «матеріалістичного» розуміння історії в її «марксистсько-ленінському» варіанті, який, активно впливаючи на масову свідомість, одним з найжорсткіших імперативів увів табу на відкрите раціональне її обговорення, в сучасній Україні вже, загалом, усвідомлюється, що вирішальним для успішності чи неуспішності колективного відгуку суспільства на історичні виклики — є стан його колективної свідомості, що формується в процесах міжособистісних та публічних комунікацій. В якості теоретичної основи для визначення можливостей Музею у сприянні суспільству в осучасненні його світоглядних орієнтирів, використано роботи Н. Лугмана, зокрема, положення про базове значення у формуванні тривалої світоглядної самоідентифікації і короткочасних колективних настроїв суспільства — міжособистісного спілкування, в якому основним посередником комунікації є мова в її найширшому тлумаченні — тобто, в усьому комплексі вербальних і невербальних, свідомих і підсвідомих меседжів, знаків і наративів, які нею транслюються.

Важливим в цьому сенсі видається й оновлення самої філософії спілкування з аудиторією — її переорієнтація на інтерсуб'єктивний стиль, на забезпечення максимально дружного й невимушеного обміну думками, з врахуванням особливостей кожного окремого суб'єкта спілкування. Зокрема, усвідомлюючи важливість зацікавленості Музеєм з боку дитячої аудиторії, враховано дослідження Ж. Піаже з розвитку інтелекту і здатності до пізнання у дітей різного віку.

При огляді світоглядних меседжів, які природничий музей може транслювати відвідувачам, наголос в статті зроблено, передовсім, на соціальному контексті цих меседжів, наприклад, на актуальності оновлення тих екстраполяцій, які людина, знайомлячись з досягненнями природничих наук, традиційно схильна здійснювати на соціальне життя. Цей огляд здійснено на основі «нової онтології» Н. Гартмана, яка, «повертаючи» в епістемологію онтологічну основу, після її тимчасової втрати, зусиллями крайніх течій «рефлексивної філософії», серед іншого, «легалізувала» закономірності ідеальної реальності, фрагментарно втіленої в феноменах культури в її найширшому тлумаченні, та окреслила особливості їх впливу на матеріальну реальність.

Музей не відноситься до тих інституцій суспільства, в яких нині відбувається розподіл ресурсів чи (і) запекла боротьба реформаторів з прибічниками антисоціальних корумпованих відносин, які, здається, ніяк неможливо подолати. Він тихо й спокійно робить свою роботу, досліджуючи, поширюючи знання, слугуючи важливим елементом «культурного ландшафту» Столиці, місцем періодичних сімейних чи шкільних відвідин. Проте це не зменшує важливість місії Музею з допомоги суспільству в час його доленосних змін — швидше подолати стан світоглядної невизначеності та мотиваційної нестабільності, транслюючи ті цінності й знання, які сприятимуть його солідарності й адекватності його відгуків на виклики часу.

Подяки

Робота виконана в рамках наукової теми ННПМ НАН України «Методологічні та практичні аспекти інтерпретації природи та наукової спадщини в музейній діяльності» (№ ДР 0120U000167). Автори вдячні рецензентам рукопису та проф. Юрію Чернобаю за важливі зауваження, поради й коментарі, а також редактору видання Ігорю Загороднюку за невтомну підтримку авторів в процесі написання цієї статті.

References

Barkaszi, Z., O. Kovalchuk, A. Maliuk. 2021. Interpretation of evolution as part of science popularization in natural history museums. *Geo&Bio*, **21**: 13–24. [In Ukrainian] https://doi.org/10.15407/gb2104

Berger, P. & Lukman, N. 1995. *Social Construction of Reality. Treatise on the Sociology of Knowledge*. Nauka, Moskva, 1–323. [In Russian]

Chernobay, Yu. 2009. Evolutionary theory in the modern natural history museum (for the 200th anniversary of the birth of Ch. Darwin). *In: Natural History Museology (Proceedings of ICOM-Ukraine Conference)*. Lviv, Kamianets-Podilskyi, 33–41. [In Ukrainian]

Drew, J. 2011. The role of natural history institutions and bioinformatics in conservation biology. *Conservation Biology*, **25** (6): 1250–1252. https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2011.01725.x

Farrell, T. 2017. *Revisiting Postmodernism*. RIBA Publishing, Newcastle, 1–224

Hartmann, N. 2003. *On the Basis of Ontology*. Nauka, St. Petersburg, 1–639. [In Russian]

Karlsen, Ya. 2004. A self-fulfilling prophecy. *In: Theory and Methods in Social Sciences*. RossPen, Moskva, 102–114. [In Russian]

Lugman, N. 2007. *Introduction in System Theory.* Logos, Moskva, 1–360. [In Russian]

Maturana, H., F. Varela. 2001. The Tree of Knowledge. *Sociological journal*, **2**: 8–64.

Maturana, H. 1970. Biology of Cognition. *BCL Report*, 90. Urbana, 1–58.

Mazurik, Z. 2009.Ukrainian National Committee of the International Council of Museums: tasks and prospects. *In: Natural History Museology (Proceedings of ICOM-Ukraine Conference).* Lviv, Kamianets-Podilskyi, 5–9. [In Ukrainian]

Muraviova, I. 2018. Interactive lessons for preschool children conducted in the State Museum of Nature of Vasyl Karasin Kharkiv National University. *Geo&Bio,* **16**: 110–114. [In Ukrainian] https://doi.org/10.15407/gb.2018.16.110

Piazhe, Zh. 2003. *Psychology of intelligence*. Piter, St. Petersburg, 1–192. [In Russian]

Reale, J., D. Anticery. 2003. *Western Philosophy From the East to Our Days. Volume 4.* Pnevma, St. Petersburg, 1–880. [In Russian]

Sorokin, P. 2006. *A Social and Cultural Dynamics.* Astrel, Moskva, 1–1176. [In Russian]

Teilhard de Chardin, P. 1955. *The Phenomenon of Men*. Harper Perennial Modem Classics, New York, 1–347.

Vaydaher, F. 2005. *General Muzeology: Guide*. Litopis, Lviv, 1–632. [In Ukrainian]

Zagorodniuk, I. 2019. Conferences and editions of the cycle "Natural History Museology". *Natural History Museology*, Volume 5. NMNH of Ukraine, Kyiv, 319–320. [In Ukrainian]

GEO&BIO

2023 • vol. 24, pp 64–98
https://doi.org/10.53452/gb2406

The Late Pennsylvanian vegetation of the Donets Basin, Ukraine: Syntaxonomy of plant communities

Nataliya Boyarina

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

article info

key words
plant associations, vegetation classification, prodromus, palaeoecology, 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;
orcid: 0000-0001-5316-4090

article history
Submitted: 01.06.2023. Revised: 26.06.2023. Accepted: 30.06.2023.

cite as
Boyarina, N. 2023. The Late Pennsylvanian vegetation of the Donets Basin, Ukraine: Syntaxonomy of plant communities. *GEO&BIO*, **25**: 64–98. [In English, with Ukrainian summary]

abstract

A reconstruction and classification of Kasimovian and Gzhelian plant communities of the Donets Basin that constituted the Late Pennsylvanian vegetation cover of the region is proposed. Reconstructions of palaeophytocoenoses are based on the identification of the floristic composition of fossil assemblages and the lithological-facial features of plant-bearing strata from 69 phytooryctocoenoses that were found in more than 30 plant fossil localities and 20 boreholes within the Bahmut and Kalmius–Torets depressions. The plant remains were studed from lacustrine, swamp, deltaic, floodplain and lagoonal deposits that indicate biotopes corresponding to coastal lowlands, deltaic plains, floodplains and river valley slopes. The morphological and quantitative characteristics of plant fossils indicate that these palaeophytocoenoses in different time intervals of the Late Pennsylvanian belonged to four vegetation types, namely to coastal semi-aquatic vegetation, wetland forests, wetland woodlands and seasonally dry woodlands. The classification of plant communities was conducted using the ecological and floristic approach for vegetation classification by the Braun-Blanquet method. The identification of plant community types (syntaxa) from the lowest rank (association) to the higher ranks (alliance, order, and class) was made as a result of an analysis of the floristic composition and ecological conditions of palaeophytocoenoses. The major criteria for determining the syntaxa are the diagnostic species including characteristic and differential species, which are considered as indicators of environmental conditions. The newly compiled prodromus of Kasimovian and Gzhelian plant communities consists of 11 classes, 16 orders, 21 alliances and 21 associations. The prodromus reveals the syntaxonomic composition of the Late Pennsylvanian vegetation cover of the Donets Basin and provides an understanding of past vegetation dynamics. The syntaxonomic changes of vegetation are traced in the four time intervals that are correspond to regional stratigraphic units, namely Toretskian (Kasimovian), Kalynovian (early Gzhelian), Luganskian (middle Gzhelian), and Vyskrivskian (late Gzhelian), and are characterised by the plant associations of certain classes and orders.

© 2023 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.

Пізньопенсильванська рослинність Донецького басейну України: синтаксономія рослинних угруповань

Наталія Бояріна

Резюме. Пропонується реконструкція та класифікація касимовських та гжельських рослинних угруповань Донецького басейну, які складали пізньопенсильванський рослинний покрив. Реконструкції палеофітоценозів базуються на визначенні флористичного складу викопних рослинних комплексів та літолого-фаціальних ознак флороносних відкладів із 69 фітооріктоценозів, які виявлені в більш ніж 30 місцезнаходженнях викопних рослин та 20 свердловинах в межах Бахмутсткої та Кальміус-Торецької котловин. Рослинні рештки походять із озерних, болотних, дельтових, заплавних та лагунних відкладів, які визначають біотопи, що відповідають прибережним низовинам, дельтовим рівнинам, заплавам та схилам річкових долин. Морфологічні та кількісні ознаки залишків викопних рослин визначають належність палеофітоценозів до чотирьох рослинних типів, а саме прибережно-водної рослинності, вологих лісів, вологого та сезонно-сухого рідколісся. Класифікація рослинних угруповань проведена із застосуванням еколого-флористичного підходу до класифікації рослинності за методом Браун-Бланке. Встановлення типів рослинних угруповань (синтаксонів) від найнижчого рангу (асоціації) до вищих рангів (союзу, порядку, класу) проведено в результаті аналізу флористичного складу та екологічних умов палеофітоценозів. Основними критеріями визначення синтаксонів є діагностичні види (характерні та диференційні), які розглядаються як індикатори умов середовища. Вперше складений продромус рослинних угруповань касимовського та гжельського часів включає 11 класів, 16 порядків, 21 союз та 21 асоціацію. Продромус розкриває синтаксономічний склад пізньопенсильванського рослинного покриву Донецького басейну та дає розуміння динаміки рослинності. Синтаксономічні зміни рослинності простежуються в чотирьох часових інтервалах, а саме торецькому (касимовському), калинівському (ранньогжельському), луганському (середньогжельському) та вискрівському (пізньогжельському), які відповідають регіональним стратонам та характеризуються рослинними асоціаціями певних класів та порядків.

Ключові слова: рослинний покрив, класифікація, пізній пенсильваній, Донецький басейн.

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

Introduction

The study of fossil flora and the reconstruction of the palaeophytocoenoses that made up the ancient vegetation cover provide an understanding of the vegetation of past geological epochs. The first reconstructions of peat-forming communities, forest communities of lowlands and plant communities of uplands gave initial insights into the Carboniferous vegetation cover in palaeotropical Euramerica [Gothan & Gimm 1930; Němejc 1951; Shchogolev 1964; Barthel 1976; Scott 1977, 1979]. At the same time, several techniques and approaches were proposed for conducting palaeoecological research and landscape interpretations [Radchenko 1964; Oshurkova 1974, 1987; Fissunenko 1979, 1987; Shchogolev 1985].

Subsequent studies were devoted to more detailed studies of the wetland and dryland flora of certain habitats with environmental interpretation [Iwaniw 1985; Raymond 1987; Falcon-Lang 2003; Bashforth *et al.* 2010; Elrick *et al.* 2017; etc.]. The Euramerican tropical vegetation in Pennsylvanian times is currently interpretated as a complex of wetland and seasonally dry ecosystems, or biomes [DiMichele *et al.* 2001, 2010; DiMichele 2014; Bashforth *et al.* 2016]. Studies of Late Pennsylvanian floral assemblages have shown that the major components of the Euramerican wetland vegetation, which occupied lowland areas with swamps and lakes, were marattialean ferns, sphenopsids, and some medullosalean pteridosperms [Gastaldo *et al.* 1995; DiMichele & Phillips 1988, 1994; Phillips & DiMichele 1998; DiMichele *et al.* 2001]. The seasonally dry vegetation of better-drained fluvial habitats was presented by conifers, cordaites, and peltaspermalean pteridosperms [Cridland & Morris 1963; Winston 1983; Lyons & Darrah 1989; DiMichele *et al.* 2001; Falcon-Lang *et al.* 2015].

The Carboniferous flora of the Donets Basin was studied by N. V. Grigoryev, M. D. Zalessky, E. F. Tschirkova, E. O. Novik, O. K. Shchogolev, O. P. Fissunenko, and N. I. Boyarina, whereas ancient

plant communities and vegetation of this time were first described by O. K. Shchogolev [1964, 1985, 1991], O. P. Fissunenko [1979, 1987], and N. I. Boyarina [1995, 2006c]. The study of the vegetation cover included the reconstructions and classifications of palaeophytocoenoses. Based on the late Carboniferous floral assemblages from different lithofacial deposits, the classifications of the plant communities of coastal lowlands and alluvial plains were carried out [Shchogolev 1991; Boyarina 2006c]. These first classifications were built using the dominant plant communities of certain landscape types and the life form of dominant plants. The two mentioned characteristics are the main criteria of the dominant and physiognomic approaches to vegetation classification [Aleksandrova 1969].

At present, the ecological and floristic approach by the Braun-Blanquet method [Braun-Blanquet 1951, 1964; Mirkin & Naumova 2014, 2017] ranks prominently in the classification of palaeophytocoenoses [Ignatiev 1992, 2016, 2020]. This method was applied for the first time to fossil phytocoenoses for the classification of Triassic plant communities by Retallack [1977]. In recent decades, the Braun-Blanquet approach was used to classify the Permian plant communities of the Pechora Basin, Fore-Urals and Urals [Naugolnykh 2007; Ignatiev 2020], and the middle Gzhelian palaeophytocoenoses of the Donets Basin [Boyarina 2016a, 2017].

The present paper is devoted to the classification of the Late Pennsylvanian vegetation cover of the Donets Basin by the Braun-Blanquet approach. The description of the plant communities at rank of associations as the base units in a Braun-Blanquet classification system and the prodromus of the Late Pennsylvanian vegetation are provided.

Geological setting

The Upper Pennsylvanian (upper Carboniferous) deposits are widespread in the western part of the Donets Basin and are exposed on the gully slopes within the Bahmut and Kalmius–Torets depressions (Fig. 1). This section reaches a thickness of more than 2500 metres and is represented by rhythmically alternating nearshore-marine and terrestrial facies. The Upper Pennsylvanian was divided into four suites (= formations) by limestone marker beds: Isaevska (including the group of limestones with letter N), Avilovska (limestones O), Araucaritova (limestones P), and Kartamyshska (limestones Q). A distinctive feature of these deposits is the decrease in the number of coal beds (Araucaritova Suite) and the appearance of red bed rocks that predominate in the upper part of the section (Kartamyshska Suite). Three regional stages with six horizons [Poletaev *et al*. 2011] and five megafloral zones [Boyarina 2016b] were recognised in the Kasimovian and Gzhelian of the Donets Basin (Fig. 2).

Material and Methods

The plant remains from more than 30 plant fossil localities and 20 boreholes have been collected since the 1960s and studied by O. K. Shchogolev [1960, 1964, 1975, 1985, 1991] and N. I. Boyarina [Boyarina & Shchogolev 1989; Boyarina 1994, 2006a, 2006b, 2010]. The specimens are predominantly represented by impressions and less so by poorly preserved compressions. They are currently stored at the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, but will be transferred to the National Museum of Natural History of NAS of Ukraine, Kyiv. Most localities have already been described by O. K. Shchogolev and N. I. Boyarina [Shchogolev 1985, 1991; Boyarina 2006a, 2006b, 2010; Poletaev *et al*. 2011].

All studied plant fossil localities and boreholes are listed below (their numbers are used in the phytosociological tables given in the present paper). The plant-bearing beds containing separate plant assemblages within a single sedimentary stratum in some localities are designated by letters.

The list of localities is given in ascending stratigraphic order of deposits:

(***1***) Kartanash, a quarry near Kartanash railway station, nearby to the south-eastern outskirts of the urban village of Kalynove, Lugansk Oblast (interval between the n_3^1 coal seam and the N_5^1 limestone bed): Kartanash-a (siltstone beds above the n_3^1 coal seam), Kartanash-b (siltstone beds above a 37-m-thick sandstone bed), Kartanash-c (sandstone beds under the n_3^2coal seam).

(***2***) Volchanivka, a gully near the village of Volchanivka, north of Debaltsevo railway station, Donetsk Oblast (below the O_1 limestone bed).

(***3–5***) Svitlanove, a quarry near Svitlanove railway station, Lugansk Oblast:

(***3***) Svitlanove-1 (interval between the O_4 and O_4^1 limestone beds): Svitlanove-1a (siltstone beds above the O_4 limestone bed), Svitlanove-1b (mudstones under the unnamed coal bed below the O_4^1 limestone bed);

(***4***) Svitlanove-2 (interval between the O_4^2 and O_4^3 limestone beds);

(***5***) Svitlanove-3 (upper part of the interval between the O_4 and O_5 limestone beds): Svitlanove-3a (mudstone beds), Svitlanove-3b (siltstone beds), Svitlanove-3c (siltstone beds below the O_4^5 limestone bed).

(***6–8***) Chernyshove, a gully on the slope of the right tributary of the Zhelizna River:

(***6***) Chernyshove-1 (below the O_4^1 limestone bed);

(***7***) Chernyshove-2 (interval between the O_4^3 and O_4^4 limestone beds);

(***8***) Chernyshove-3 (interval between the O_4 and O_5 limestone beds).

(***9–17***) Kalynove, gullies on the left bank of the Lugan River near the urban village of Kalynove, Lugansk Oblast:

(***9***) Kalynove-1 (interval between the O_1 and O_2 limestone beds);

(***10***) Kalynove-2 (below the O_4^4 limestone bed);

(***11***) Kalynove-3 (interval between the O_4^6 and O_5 limestone beds): Kalynove-3a (sandstone and siltstone beds), Kalynove-3b (mudstones under the unnamed coal bed below the O_5 limestone bed);

(***12***) Kalynove-4 (interval between the O_5 and O_6 limestone beds): Kalynove-4a (siltstone beds in a deltaic succession), Kalynove-4b (mudstones under the unnamed coal bed below the O_6 limestone bed);

(***13***) Kalynove-5 (interval between the O_6 and O_7 limestone beds);

(***14***) Kalynove-6 (interval between the O_6^1 and O_7 limestone beds);

(***15***) Kalynove-7 (below the P_1 limestone bed): Kalynove-7a (mudstones under the o_3^3coal seam), Kalynove-7b (mudstones above the o_3^3coal seam);

(***16***) Kalynove-8 (under the p_4 coal seam);

(***17***) Kalynove-9 (below the P_5 limestone bed).

(***18***) Memrik gully, on the bank of the Vovcha River near the village of Galytsynivka, Donetsk Oblast (interval between the O_4 and O_5 limestone beds).

(***19–20***) Troyitske, a gully on the left bank of the Lugan River near the village of Troyitske, Lugansk Oblast:

(***19***) Troyitske-1 (below the P_1 limestone bed): Troyitske-1a (sandstone beds), Troyitske-1b (siltstone beds);

(***20***) Troyitske-2 (interval between the P_2 and P_3 limestone beds): Troyitske-2a (mudstone beds), Troyitske-2b (sandstone beds), Troyitske-2c (siltstone beds).

(***21***) Kravetska gully, near the village of Ivanopilia, Donetsk Oblast (below the P_3 limestone bed).

(***22***) Krasnyi Pahar, a gully near the village of Vozdvuzhenka (formerly Krasnyi Pahar), Donetsk Oblast (below the P_4 limestone bed): Krasnyi Pahar-a (siltstone beds in a lagoonal succession), Krasnyi Pahar-b (siltstone beds in a lacustrine-deltaic succession), Krasnyi Pahar-c (mudstone beds in a lacustrine-deltaic succession).

(***23***) Myronivske-1, a gully on the left bank of the Myronivsky Reservoir, near the urban village of Myronivske, Donetsk Oblast, 200 m north of the Kharkiv–Rostov-on-Don highway (below the P_5^0 limestone bed).

(***24***) Myronivske-2, the Myronivska gully, 731 km of the Bachmut–Rostov-on Don highway (above the P_6 limestone bed).

(***25–28***) Luganske, a gully on the the left bank of the Myronivsky Reservoir, near the urban village of Luganske, Donetsk Oblast:

(***25***) Luganske-1, the lower part of the gully (below the P_6 limestone bed): Luganske-1a (siltstones with mudstone beds in a lacustrine-deltaic succession), Luganske-1b (siltstone beds in a deltaic succession);

(***26***) Luganske-2, the middle and upper parts of the gully (below the P_6 limestone bed): Luganske-2a (greenish-grey mudstone bed within a lacustrine-floodplain succession), Luganske-2b (intercalation of greenish-grey mudstone and siltstone beds within a floodplain succession), Luganske-2c (lacustrine greenish-grey mudstones), Luganske-2d (lacustrine-floodplain greenish-grey siltstones intercalated with mudstones), Luganske-2e (intercalation of greenish-grey mudstone, siltstone and sandstone beds within a lacustrine-floodplain succession), Luganske-2f (intercalation of greenish-grey siltstone and sandstone beds within a floodplain succession), Luganske-2g (lacustrine-floodplain greenish-grey siltstones);

(***27***) Luganske-3, mudstones between two thin unnamed coal seams in the upper part of a gully (below the P_6 limestone bed);

(***28***) Luganske-4, a gully on the left bank of the Myronivsky Reservoir, within 2 km south of Rota railway station, Donetsk Oblast (interval between the P_6 and P_6^2 limestone beds).

(***29***) Novgorodske, a quarry near the urban village of Novgorodske, Donetsk Oblast (interval between two grey mudstone beds with the Q_1 and Q_3 carbonate interbeds).

(***30***) Keramic, a quarry near the village of Keramic, Donetsk Oblast (interval between two grey mudstone beds with the Q_1 and Q_3 carbonate interbeds).

(***31***) Kamyshevaha, a quarry near the village of Kamyshevaha, Lugansk Oblast (grey mudstone bed with the Q_3 carbonate interbed).

(***32***) Kalynove quarry, near the village of Kalynove, Pokrovsk Raion, Donetsk Oblast (interval between two grey mudstone beds with the Q_4 and Q_6 carbonate interbeds): Kalynove quarry-a (dark-grey mudstones), Kalynove quarry-b (light-grey mudstones), Kalynove quarry-c (red-brown mudstones with blue and dark-brown spots).

(***33***) Klynove, a quarry nearby to the north-eastern outskirts of the village of Klynove, Donetsk Oblast (below a grey mudstone bed with the Q_6 carbonate interbed).

(***34***) Borehole No. 743, the Corulsky dome, depth 902–903 m (interval between the O_4 and O_5 limestone beds).

(***35***) Borehole No. 811, the Chervonooskilsky dome, depth 869–872 m (interval between the O_5 and O_6 limestone beds).

(***36***) Borehole No. 239, the Kalmius–Torets depression, depth 206,3 m (interval between the O_5 and O_6 limestone beds).

(***37***) Borehole No. 232, the joint zone of the Druzhkovsko-Konstantynovska brachianticline and the Golovna anticline, depth 314 m (below the P_1 limestone bed).

(***38***) Borehole No. 7168, the Mechebilovske uplift, depth 86,5 m (below the P_1 limestone bed).

(***39***) Borehole No. 741, the Corulsky dome, depth 317 m (below the P_2 limestone bed).

(***40***) Borehole No. A-3, near the urban village of Olhivka, Donetsk Oblast, depth 182–154 m (interval between the P_1 and P_3 limestone beds).

(***41***) Borehole No. 443, near the city of Yunokomunarivsk, Donetsk Oblast, depth 337 m (below the P_3 limestone bed).

(***42***) Borehole No. 181, the Corulsky dome, depth 613 m (interval between the P_4 and P_5 limestone beds).

(***43***) Borehole No. 4453, the village of Krasnopolie, Donetsk Oblast, depth 507–508 m (above a grey mudstone bed with the Q_1 carbonate interbed).

(***44***) Borehole No. 4395, towards the south-west of the village of Vyskrivka, Lugansk Oblast, depth 137–148 m (interval between two grey mudstone beds with the Q_1 and Q_3 carbonate interbeds).

(***45***) Borehole No. 4377, towards the west of the village of Klynove, Donetsk Oblast, depth 706–712 m (interval between two grey mudstone beds with the Q_4 and Q_7 carbonate interbeds).

(***46***) Borehole No. 4385, towards the east of the village of Klynove, Donetsk Oblast, depth 322–324 m (interval between two grey mudstone beds with the Q_6 and Q_7 carbonate interbeds).

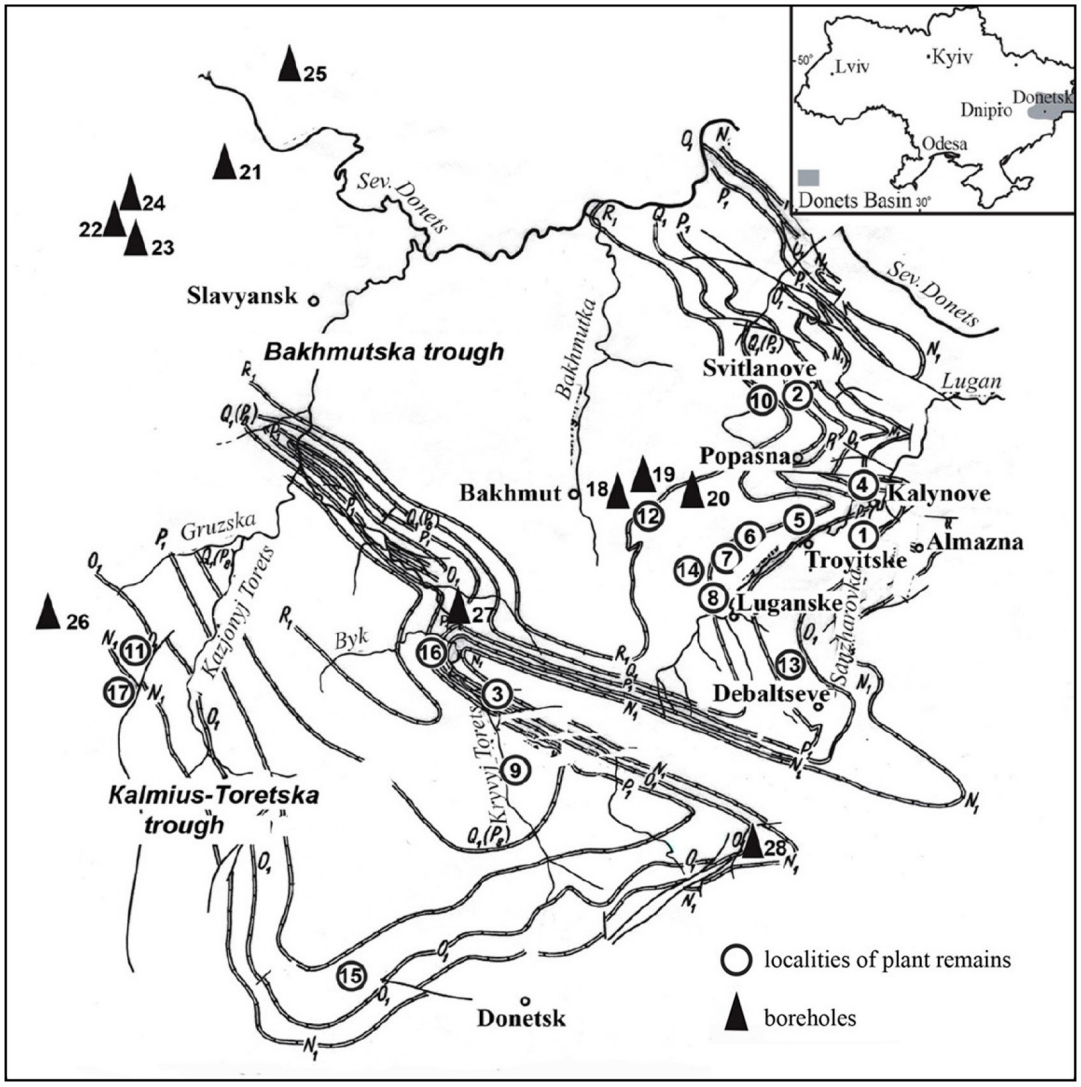


Fig. 1. Study region with the structure plan of suite limestones (from the materials of State regional geological enterprise 'Donetskgeology', 1985) and localities of plant remains. (*1*) Kartanash; (*2*) Svitlanove; (*3*) Chernyshove; (*4*) Kalynove; (*5*) Troyitske; (*6*) Krasnyi Pahar; (*7*) Myronivske; (*8*) Luhanske; (*9*) Novgorodske; (*10*) Kamyshevaha; (*11*) quarry Kalynove; (*12*) Klynove; (*13*) gully near the village of Volchanivka; (*14*) gully near Roty railway station; (*15*) gully Memryk near the village of Galytsynivka; (*16*) gully Kravetska near the village of Ivanopilie; (*17*) quarry near the village of Keramik; (*18*) borehole No. 4377; (*19*) borehole No. 4385; (*20*) borehole No. 4395; (*21*) borehole No. 4453; (*22*) borehole No. 743; (*23*) borehole No. 741; (*24*) borehole No. 181; (*25*) borehole No. 811; (*26*) borehole No. 239; (*27*) borehole No. 232; (*28*) borehole No. A-3.

Рис. 1. Схема району дослідження із структурним планом світних вапняків (за матеріалами Державного регіонального геологічного підприємства "Донецькгеологія", 1985) та положенням місцезнаходжень рослинних решток: (*1*) Картанаш; (*2*) Світланове; (*3*) Чернишове; (*4*) Калинове; (*5*) Троїцьке; (*6*) Красний Пахар; (*7*) Миронівське; (*8*) Луганське; (*9*) Новгородське; (*10*) Камишеваха; (*11*) кар'єр Калинове; (*12*) Клинове; (*13*) яр біля с. Волчанівка; (*14*) яр біля залізничної станції Роти; (*15*) яр Мемрик біля с. Галицинівка; (*16*) яр Кравецький на околиці с. Іванопіл'є; (*17*) кар'єр біля с. Керамік; (*18*) св. 4377; (*19*) св. 4385; (*20*) св. 4395; (*21*) св. 4453; (*22*) св. 743; (*23*) св. 741; (*24*) св. 181; (*25*) св. 811; (*26*) св. 239; (*27*) св. 232; (*28*) св. А-3.

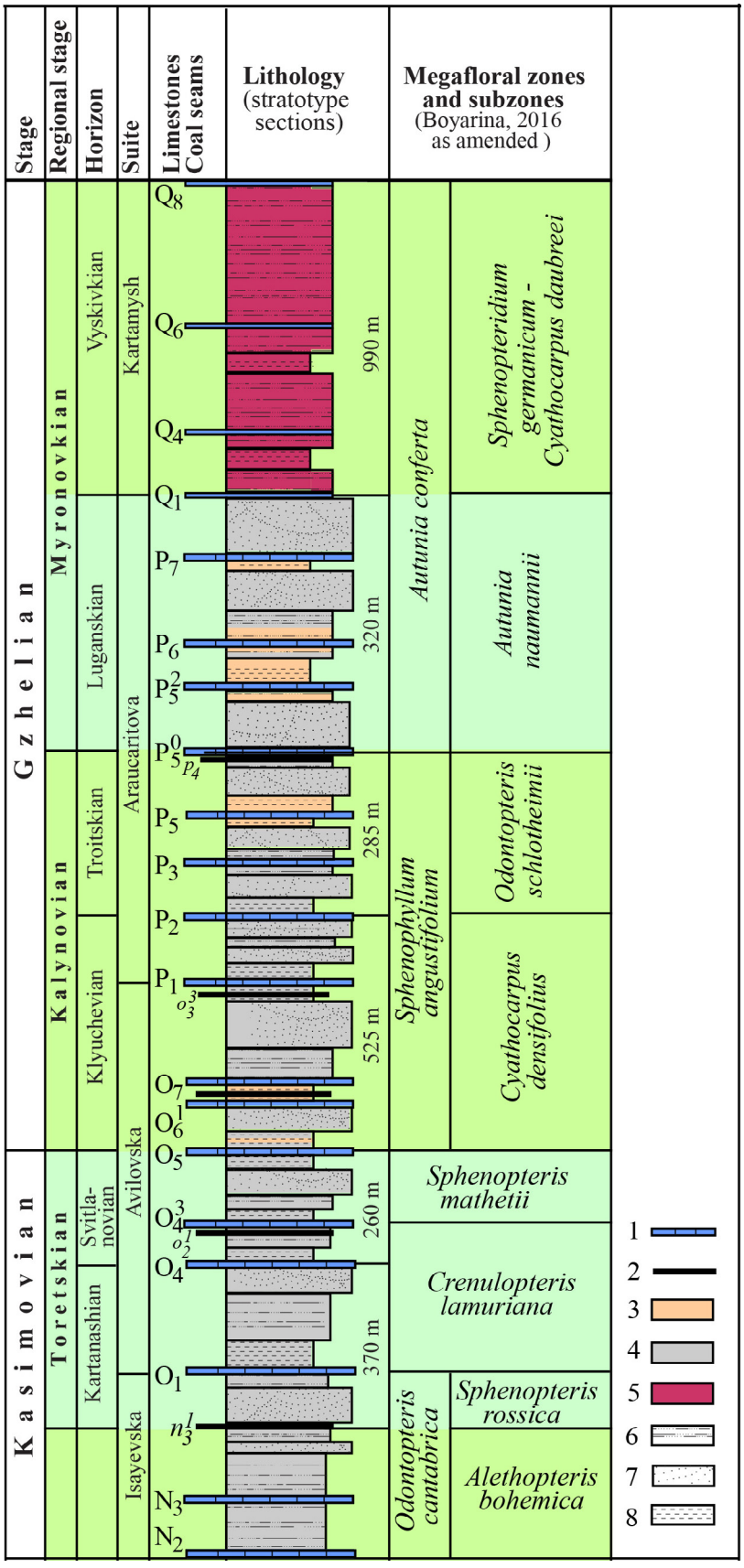


Fig. 2. Regional stratigraphical units and megafloral zones of the Upper Pennsylvanian of the Donets Basin. (*1*) limestone beds; (*2*) coal seams; (*3*) variegated beds; (*4*) grey rocks; (*5*) red bed rocks; (*6*) siltstones; (*7*) sandstones; (*8*) mudstones.

Рис. 2. Регіональні стратиграфічні підрозділи та макрофлористичні зони верхнього пенсильванію Донецького басейну. (*1*) вапнякові пласти; (*2*) вугільні прошарки; (*3*) строкатоколірні відклади; (*4*) сіроколірні породи; (*5*) червоноколірні породи; (*6*) алевроліти; (*7*) пісковики; (*8*) аргіліти.

Palaeophythosociological (palaeophytocoenological) research was carried out on the basis of 69 phytooryctocoenoses in the above-mentioned localities. The phytooryctocoenoses [Oshurkova 1974, 1987] or 'plant remain burials' after Shchogolev [1985] are sets of fossilised plant remains (fossil plant assemblages) that were buried under certain environmental conditions and are confined to rocks of specific lithology (sedimentary facies). The study of plant remains along with plant-bearing deposits was performed under the basic techniques of the analysis of phytooryctocoenoses for palaeoecological and palaeophytocoenotic interpretations that were developed by Shchogolev [1985, 1991]. The facies types were identified by the described basic terrestrial and subterrestrial types of sedimentary facies in the Carboniferous of the Donets Basin [Zhemchuzhnikov *et al.* 1960; Feofilova 1966; Borisenko 1975, 2014].

The reconstructions of plant communities were made on the basis of identifications of the floristic composition of plant fossil assemblages and the lithological and facial features of plant-bearing strata, taking into account the taphonomy of plant remains (autochthony, parautochthony, and allochthony). Megafloral data from strata less studied under lithofacial aspect are used for the palaeophytocoenological analysis too in order to obtain a more complete coverage of the vegetation composition of the Donets Basin.

The classification of Kasimovian and Gzhelian plant communities was conducted according to the ecological and floristic approach to vegetation classification by the Braun-Blanquet method described in several publications [Braun-Blanquet 1951, 1964; Whittaker 1962; Westhoff & Maarel 1973; Mirkin & Naumova 2014, 2017; Ignatiev 2016]. The classification is usally considered as consistsing of three stages: analytical, synthetic, and syntaxonomic. The study of phytooryctocoenoses and reconstruction of plant communities are related to the analytical stage. The synthetic and syntaxonomic stages include the identification and description of syntaxa.

Habitats and types of the Late Pennsylvanian vegetation of the Donets Basin

The Late Pennsylvanian plant communities have been reconstructed on the basis of plant fossil assemblages from the deposits that were interpretated as lacustrine, swamp, deltaic, floodplain and lagoonal facies. The lithological features of plant-bearing deposits indicate that the palaeophytocoenoses grew within four landscape types, namely coastal lowlands, deltaic plains, floodplains, and river valley slopes. The vegetation of coastal lowlands is reconstructed on the basis of the phytooryctocoenoses that include the remains of ferns, sphenopsids, and, less often, pteridosperms in lacustrine deposits. In the Kasimovian and lower Gzhelian, the lacustrine facies occur below limestone beds and consist of light grey unbedded mudstones with or without coal seams. The lacustrine facies with plant fossils in the upper Gzhelian (Vyskrivskian) are represented by grey unbedded mudstones intercalated with carbonate interbeds that occur between red large-scale strata. These grey intervales are interpreted as representing deposition in nearshore marine and lacustrine environments [Poletaev *et al.* 2011]. The upper Gzhelian plant fossil assemblages occur in red-brown unbedded mudstones with blue- and greenish-grey spots too. These facies are interpreted as lagoonal-lacustrine deposits. The phytooryctocoenoses including fossil subsigillarians, sphenopsids, ferns, and pteridosperms that occur in deltaic and lacustrine-deltaic deposits indicate the plant communities of deltaic plains. The deltaic facies association is restricted to the Kasimovian and lower Gzhelian. This facies association consists of light grey and greenish-grey, thinly bedded siltstones, thin grey and greenish-grey mudstone beds, fine-grained sandstones and is interpreted to represent a deltaic system [Borisenko 1975, 2014; Poletaev *et al.* 2011]. The vegetation of floodplains and river valley slopes was studied on the basis of plant fossil assemblages consisting of pteridosperms, cordaites, and conifers from fluvial deposits of the Kasimovian and lower Gzhelian. This facies association is composed of grey conglomerate beds, coar- to fine-grained sandstones, thinly to thicly bedded siltstones, rare mudstones and indicate channel and floodplain environments.

The morphological and quantitative characteristics of plant fossils and the growth forms of fossil plants indicate that the palaeophytocoenoses in different time intervals belonged to four vegetation types: coastal semi-aquatic vegetation, wetland forests, wetland woodlands, and seasonally dry woodlands. Some of them were widespread in Pennsylvanian times and are described in a number of works [e.g. DiMichele *et al*. 2001, 2005, 2009, 2010, 2014; Falcon-Lang 2003; Falcon-Lang *et al*. 2009; Bashforth *et al*. 2010; Pfefferkorn *et al*. 2017].

Syntaxonomy of the Late Pennsylvanian vegetation of the Donets Basin

The vegetation classification is based on the identification of associations that are the main units in the Braun-Blanquet classification system [Braun-Blanquet 1951, 1964]. In accordance with the Braun-Blanquet method, the major criterion for distinguishing syntaxa is their floristic composition, namely the diagnostic species, which are considered as the indicators of environmental conditions. The diagnostic species comprise characteristic and differential species. The characteristic species occur in the plant communities belonging to a single syntaxon. The differential species with a wide ecological range are common in the plant communities of several syntaxa. For the identification and characterisation of associations, phytosociological tables have been compiled. These tables are an important part of the Braun-Blanquet approach and show the quantitative data of plant fossils in all localities, arranged by abundance and constancy class of species [Braun-Blanquet 1951, 1964; Whittaker 1962; Westhoff & Maarel 1973; Mirkin & Naumova 2014, 2017; Ignatiev 2016, 2020]. In the present paper, the estimation of the abundance of a given species has been performed by the number of remains of the plants of this species in each phytooryctocoenosis: rare (1–2 specimens), common (3–8 specimens), numerous (9–15 specimens), abundant (>15 specimens). The constancy class corresponds to the percentage of phytooryctocoenoses, in which a given species is present relative to the total number of phytooryctocoenoses. In the Braun-Blanquet approach, constancy value is usually defined as: low (less than 20%), middle (21–60%) and high (61–100%). The syntaxon names in the ecological-floristic classification are given by the plant species that are present in all communities and reflect their ecology. The established associations in the Donets Basin are named by predominanting plant fossils in the phytooryctocoenoses. O. K. Shchogolev was included as the author of those associations, which were identified based on the plant fossil assemblages that he studied. The formation and typification of syntaxon names have been performed in accordance to the International Code of Phytosociological Nomenclature [Theurillat *et al*. 2021].

The various associations are typical for each of the four time intervals that correspond to regional stratigraphic units (see Fig. 2): Toretskian (Kasimovian), Kalynovian (early Gzhelian), Luganskian (middle Gzhelian) and Vyskrivskian (late Gzhelian).

1. Description of plant associations

1.1. Coastal semi-aquatic vegetation

The communities of coastal semi-aquatic plants have been studied on the basis of the plant fossil assemblages including calamitalean and sphenophyll fragments predominantly in the lacustrine deposits that occur below coal seams and within floodplain-lacustrine and lagoonal successions. The coastal semi-aquatic vegetation is represented by a single type of plant communities.

Sphenophyll-calamitalean communities of the shallow nearshore parts of lakes and lagoons were reconstructed on the basis of the remains of calamitalean leafy shoots and stems, sphenophyll leafy shoots from light grey unbedded mudstones occuring under or between coal seams (lacustrine facies), grey thinly bedded mudstones and silty mudstones lying below limestones (lacustrine-lagoonal facies that were formed under wet conditions), red thinly bedded mudstones and silty mudstones within lagoonal succession (lacustrine-lagoonal facies that were formed under seasonally dry conditions). The plant communities including sphenophylls and calamitaleans had a slighly different species composition for most of the Late Pennsylvanian, except for the late Gzhelian time, and were assigned to two associations. The names of the associations of coastal aquatic thickets are given by the species of calamitalean stems and sphenophyll leafy shoots with high and middle constancy values as well as with a high species abundance.

Association *Sphenophyllo oblongifolii–Calamitetum suckowii* Shchogolev et Boyarina ass. nov.

Toretskian, Kalynovian and Luganskian times (Tables 1–3)

Typus. Kalynove-5 (interval between the O_6 and O_7 limestone beds).

Diagnostic species. *Calamites suckowii* Brongniart, *Sphenophyllum oblongifolium* (Germar et Kaulfuss) Unger, *Calamites cistii* Brongniart, *Asterophyllites equisetiformis* (Sternberg) Brongniart, *Annularia sphenophylloides* (Zenker) Gutbier, *A. stellata* Schlotheim ex Wood, *A. mucronata* Schenk, *Sphenophyllum longifolium* (Germar) Gutbier, and *S. verticillatum* (Schlotheim) Zeiller.

Description. The association was identified by the phytooryctocoenoses from 23 localities. Both in the phytooryctocoenosis from the Kalynove-5 locality, which is the nomenclature type of this association, and in the most localities, sphenopsids occur together with ferns and pteridosperms in lacustrine and lacustrine-deltaic deposits. The rich plant assemblages in such phytooryctocoenoses include the fossil remains of both coastal semi-aquatic and terrestrial plants. Most of such assemblages are found in the Toretskian (Svitlanove-2, Svitlanove-3, Chernyshove-1, and Kalynove-2 localities) and Kalynovian (Kalynove-5 and Myronivske-1 localities) deposits. The plant assemblages with only or predominantly semi-aquatic sphenopsids and single ferns were collected in the Toretskian (borehole No. 743 and the Kalynove-3b locality), Kalynovian (Kalynove-8 and Kalynove-9 localities and borehole No. 811) and Luganskian (Luganske-3 locality) deposits. The composition of the diagnostic species of this association changed little over the Toretskian, Kalynovian and Luganskian times. These minor changes manifested in the following. The species composition of coastal semi-aquatic thickets in the Kalynovian was expanded in comparison with the Toretskian. The sphenopsids of the Luganskian differ in poorer species composition than in the Kalynovian. But at the same time, the name-giving species of this association are characterised by high and middle constancy values in all three time intervals. Among sphenopsids in all phytooryctocoenoses, the fragments of the leafy shoots of *Sphenophyllum oblongifolium*, the stems of *Calamites suckowii* and the leafy shoots of *Annularia stellata*, *Asterophyllites equisetiformis* are predominant.

Table 1. **Phytosociological table characterising the association of sphenophyll-calamitean communities of the shallow nearshore parts of lakes and lagoons in the Toretskian time**

Таблиця 1. **Фітосоціологічна таблиця, яка характеризує асоціацію угруповань клинолистів та каламітів мілких прибережних частин озер та лагун в торецький час**

Diagnostic species	Plant fossil localities								Constancy classes
	Borehole No. 743	Kalynove-2	Kalynove-3b	Svitlanove-1	Svitlanove-2	Svitlanove-3	Chernyshove-1	Volchanivka	
	Locality number								
	34	10	11	3	4	5	6	2	
	Number of species								
	7	6	2	2	5	8	5	1	
The *Sphenophyllo oblongifolii–Calamitetum suckowii* association (Toretskian)									
Calamites suckowii	r	r		r		c	r		IV
Sphenophyllum oblongifolium	r	r			r	n			III
S. longifolium						c			I
S. verticillatum	r	r			r	c			III
S. thonii subsp. *nanum*	r		c						II
S. amadokense	r						r		II
Asterophyllites equisetiformis	r	r	c				r		III
Annularia stellata		c			r	c	r	r	IV
A. sphenophylloides					r	c	r		II
A. mucronata		r				r			II
Calamites cistii				r	r	r			II
Calamostachys germanica	r								I

Legend: Number of plant remains testifying to species abundance: r, rare (1–2 specimens); c, common (3–8 specimens); n, numerous (9–15 specimens); and a, abundant (>15 specimens).

Constancy class: I, less than 20%; II, 21–40%; III, 41–60%; IV, 61–80%; V, 81–100%.

Table 2. **Phytosociological table characterising the association of sphenophyll-calamitean communities of the shallow nearshore parts of lakes and lagoons in the Kalynovian time** (legend see in Table 1)

Таблиця 2. **Фітосоціологічна таблиця, яка характеризує асоціацію угруповань клинолистів та каламітів мілких прибережних частин озер та лагун в калинівський час** (умовні позначення в Таблиці 1)

Diagnostic species	Plant fossil localities														Constancy classes
	Kalynove-5	Borehole No. 743	Kalynove-4	Kalynove-8	Kalynove-6	Kalynove-7	Borehole No. 811	Troyitske-1	Troyitske-2	Kalynove-9	Myronivske-1	Kravetska gully	Krasnyi Pahar-c	Borehole No. 239	
	Locality number														
	13	34	12	16	14	15	35	19	20	17	23	21	27	36	
	Number of species														
	5	3	1	7	1	4	7	1	3	4	6	4	3	1	
The *Sphenophyllo oblongifolii–Calamitetum suckowii* association (Kalynovian)															
Calamites suckowii	r	r		r				r			r			r	III
Sphenophyllum oblongifolium	c				c	r	r		r		r				III
S. angustifolium							r								I
S. longifolium	r			r							r	r			II
S. thonii subsp. *nanum*							r								I
S. thonii subsp. *thonii*													r		I
S. verticillatum	r														I
Calamites cistii				r			r								I
C. cruciatus										r					I
C. gigas										r					I
C. medulatus				r											I
C. multiramis													r		I
Asterophyllites equisetiformis							r		r	c	c				II
Annularia sphenophylloides		r	r	r		r					r	r			III
A. stellata	r			r		r	r			c		r			III
A. mucronata		r				r			n			r	r		II
Calamostachys tuberculata				r											I
C. germanica							r				r				I

Association *Lilpopio raciborskii –Calamitetum cistii* Boyarina ass. nov.

Vyskrivkian time (Table 3)

Typus. Klynove (below a grey mudstone bed with the Q_6 carbonate interbed).

Diagnostic species. *Calamites cistii*, *Lilpopia raciborskii* (Lilpop) Conert et Schaarschmidt, *Calamites crookensis* (Mamay et Read) Boureau, *C. vandergrachtii* Kidston et Jongmans, and *Sphenophyllum verticillatum.*

Description. The association was identified on the basis of rare plant fossils in the phytooryctocoenoses from five localities. Single sphenopsids together with ferns and pteridosperms occur in lacustrine grey siltstones and mudstones (Novgorodske and Kamyshevaha localities) and only rare sphenopsids in lacustrine-lagoon red mudstones (Klynove locality and the Kalynove quarry).

1.2. Tropical wetland forests

The wetland forest vegetation has been studied on the basis of the plant fossil assemblages from swamp, lacustrine, lacustrine deltaic, and fluvial-deltaic deposits of the Toretskian and Kalynovian regional stages. On the basis of these phytooryctocoenoses, the following plant communities were reconstructed.

Calamitalean-fern communities of the shores of lakes within coastal lowlands were reconstructed on the basis of the fragments of fern pinnae and fronds and calamitalean leafy shoots and stems from grey and light grey unbedded mudstones occuring within lagoonal-lacustrine successions with coal seams (lacustrine facies).

Table 3. **Phytosociological tables characterising the associations of sphenophyll-calamitean communities of the shallow nearshore parts of lakes and lagoons in the Luganskian and Vyskrivkian times** (legend see in Table 1)

Таблиця 3. **Фітосоціологічні таблиці, які характеризують асоціації угруповань клинолистів та каламітів мілких прибережних частин озер та лагун в луганський та вискрівський часи** (умовні позначення в Таблиці 1)

Diagnostic species	Plant fossil localities														Constancy classes
	Myronivske-2	Luganske-1b	Luganske-2b	Luganske-2c	Luganske-2d	Luganske-3	Borehole No. 741	Klynove	Kalynove quarry-a	Kalynove quarry-b	Kalynove quarry-c	Kamyshevaha	Borehole No. 4395	Novgorodske	
	Locality number														
	24	25	26	26	26	27	39	33	32	32	32	31	44	29	
	Number of species														
	1	1	1	1	1	5	4	2	3	3	1	2	1	1	
The *Sphenophyllo oblongifolii–Calamitetum suckowii* association (Luganskian)															
Calamites suckowii		r	r			r	r								III
Sphenophyllum oblongifolium						r	r								II
S. cf. *angustifolium*					r	r									II
S. longifolium							r								I
Calamites cistii	r														I
Annularia stellata						c									I
Asterophyllites equisetiformis				r		r	r								II
The *Lilpopio raciborskii–Calamitetum cistii* association (Vyskrivkian)															
Calamites cistii								r				r			II
Lilpopia raciborskii								r							I
Calamites carinatus									r						I
C. crookensis									r	r					II
C. multiramus										r					I
C. paleaceus												r			I
C. vandergrachtii									r	r					II
Sphenophyllum verticillatum											r			r	II
Asterophyllites equisetiformis													r		I

Association *Calamito suckowii–Crenulopteridetum lamurianae* Shchogolev et Boyarina ass. nov.

Toretskian time (Table 4)

Typus. Svitlanove-1b (interval between the O_4 and O_4^1 limestone beds).

Diagnostic species. *Crenulopteris lamuriana* (Heer) Wittry et al., *Calamites suckowii*, *Acitheca polymorpha* (Brongniart) Schimper, *Cyathocarpus arboreus* (Sternberg) Weiss, *C. cyatheus* (Brongniart) Mosbrugger, *C. lepidorachis* (Brongniart) Mosbrugger, *Diplazites unitus* (Brongniart) Cleal, *'Pecopteris' bredovii* Germar, *'Pecopteris' potoniei* Nemejc, *Nemejcopteris feminaeformis* (Schlotheim) Barthel, *Sphenopteris lebachensis* Weiss, *S. rossica* Zalessky, *S. svetlanovii* Shchogolev et Telichko ms., *Calamites cistii*, *Asterophyllites equisetiformis*, *Annularia mucronata*, *A. sphenophylloides*, and *A. stellata*.

Description. The association was identified on the basis of five phytooryctocoenoses from four localities. The plant assemblages include diversified ferns and calamitaleans. These fossils were mainly found in light grey mudstones that occur under or between coal seams. Only in the Kalynove-2 locality, specimens of *Crenulopteris lamuriana* were collected from dark grey mudstones. The floral assemblages are dominated by *Crenulopteris lamuriana* characterised by a high abundance and a high constancy value. The pinnae fragments of *Cyathocarpus arboreus*, *'Pecopteris' bredovii*, and *Acitheca polymorpha* are more frequent in some localities. Of the diagnostic species, *Crenulopteris lamuriana*, *Cyathocarpus arboreus*, *C. cyatheus*, *C. lepidorachis*, *'Pecopteris' bredovii*, *'Pecopteris' potoniei*, *Diplazites unitus*, *Nemejcopteris feminaeformis*, *Sphenopteris lebachensis*, *S. rossica*, and *S. svetlanovii* are characteristic species, whereas *Acitheca polymorpha* is the differential species that is known from deltaic facies too. The semi-aquatic sphenophylls are not included as diagnostic species in calamitalean-fern communities because they are the indicators of ecological condition of coastal aquatic communities.

Table 4. **Phytosociological table characterising the association of calamitean-fern communities of the lake shores within coastal lowlands in the Toretskian time** (legend see in Table 1)

Таблиця 4. **Фітосоціологічна таблиця, яка характеризує асоціацію угруповань каламітів та папоротей узбереж озер в межах прибережних рівнин в торецький час** (умовні позначення в Таблиці 1)

Diagnostic species	Plant fossil localities					Constancy classes
	Svitlanove-1b	Svitlanove-2	Svitlanove-3a	Chernyshove-1	Kalynove-2	
	Locality number					
	3	4	5	6	10	
	Number of species					
	6	8	16	11	12	
The *Calamito suckowii–Crenulopteridetum lamurianae* association (Toretskian)						
Crenulopteris lamuriana	c	n	c		c	IV
Calamites suckowii	r		r	r	r	IV
Acitheca polymorpha			c	r		II
Cyathocarpus arboreus		c			r	II
C. cyatheus		r			r	II
C. lepidorachis			r			I
'Pecopteris' bredovii	r		c	r		III
'Pecopteris' potoniei		r				I
Diplazites unitus		r	r			II
Nemejcopteris feminaeformis	r			r	r	III
Sphenopteris rossica	r		r	r	r	IV
S. lebachensis					r	I
S. svetlanovii			r			I
Calamites cistii	r	r	r	r		IV
Asterophyllites equisetiformis				r	r	II
Annularia stellata			r	r	c	III
A. mucronata			r		r	II
A. sphenophylloides		r	r	r		III
Sphenophyllum longifolium			r			I
S. oblongifolium			r		r	II
S. verticillatum		r	r		r	III
S. amadokense				r		I
Neuropteris ovata			r	c		II

Association *Calamito suckowii–Cyathocarpetum densifoliae* Shchogolev et Boyarina ass. nov.
Kalynovian time (Table 5)

Typus. Borehole No. 239 (depth 206,3 m, interval between the O_5 and O_6 limestone beds).

Diagnostic species. *Cyathocarpus densifolius* (Goeppert) Šimůnek et Ploch, *Calamites suckowii*, *Acitheca polymorpha*, *Cyathocarpus arboreus*, *C. cyatheus*, *C. hemitelioides* (Brongniart) Mosbrugger, *'Pecopteris' jongmansii* Wagner, *'Pecopteris' platonii* Grand'Eury, *'Pecopteris' truncata* (Rost) Germar, *Diplazites unitus*, *Nemejcopteris feminaeformis*, *Annularia mucronata*, *A. sphenophylloides*, *A. stellata*, *Asterophyllites equisetiformis*, *Calamostachys germanica* Weiss, and *Odontopteris cantabrica* Wagner.

Description. The association was identified by six phytooryctocoenoses from five localities. The fossil assemblages were found in the lacustrine mudstones occuring under or between coal seams. The dominant plant fossils are *Cyathocarpus densifolius*, *C. cyatheus*, and *C. arboreus* that are characteristic species too. In three localities, rare or common odontopterids together with ferns and calamitaleans are found in grey mudstones above the o_3^3 coal seam (Kalynove-7b) and in mudstone beds under coal seams (Kalynove-5 and Kalynove-7a). The pteridosperm *Odontopteris cantabrica* from these lacustrine deposits is considered as the diagnostic species of this syntaxon because it is not known in other facies, and, consequently, could have been the part of only calamitalean-fern-communities that grow near the lakes within coastal lowlands. The sphenophylls are not included as diagnostic species in calamitalean-fern-communities.

Table 5. **Phytosociological table characterising the association of calamitean-fern communities of the lake shores within coastal lowlands in the Kalynovian time** (legend see in Table 1)

Таблиця 5. **Фітосоціологічна таблиця, яка характеризує асоціацію угруповань каламітів та папоротей узбереж озер в межах прибережних рівнин в калинівський час** (умовні позначення в Таблиці 1)

Diagnostic species	Plant fossil localities						Constancy classes
	Borehole No. 239	Kalynove-4b	Kalynove-5	Kalynove-7a	Kalynove-7b	Myronivske-1	
	Locality number						
	36	12	13	15	15	23	
	Number of species						
	3	6	6	7	3	8	
The *Calamito suckowii–Cyathocarpetum densifoliae* association (Kalynovian)							
Cyathocarpus densifolius	r	c	r	c	r		V
Calamites suckowii	r		r			r	III
Acitheca polymorpha		r					I
Cyathocarpus arboreus		r	r			c	III
C. cyatheus		r				n	II
C. hemitelioides						r	I
'Pecopteris' jongmansii		r					I
'Pecopteris' platonii				r			I
'Pecopteris' truncata					r		I
Diplazites unitus				r		r	II
Nemejcopteris feminaeformis			r				I
Annularia mucronata				r			I
A. sphenophylloides		r		r		r	III
A. stellata	r		r	r			III
Asterophyllites equisetiformis						c	I
Calamostachys germanica						r	I
Odontopteris cantabrica			r	c	r		III

Fern-pteridosperm communities of coastal lowlands were reconstructed on the basis of the fragments of fern and pteridosperm pinnae and fronds from light grey and grey unbedded to thinly bedded mudstones and siltstones within lagoonal-lacustrine successions without coal seams (lacustrine facies). The depositional environment of these strata is interpreted as parts of lowlands remote from the coastline.

Association *Neuropteridetum ovatae* Shchogolev et Boyarina ass. nov.

Toretskian time (Table 6)

Typus. Gully near the village of Volchanivka (below the O_1 limestone bed).

Diagnostic species. *Neuropteris ovata* Hoffmann, *Dicksoniites sterzelii* Zeiller, *Crenulopteris lamuriana*, *Acitheca polymorpha*, *'Pecopteris' bredovii*, *'Pecopteris' paleacea* Zeiller, *Nemejcopteris feminaeformis*, *Sphenopteris rossica*, *Calamites cistii*, *C. suckowii*, *Asterophyllites equisetiformis*, *Annularia mucronata*, *A. stellata*, and *A. sphenophylloides*.

Description. The association was identified on the basis of the phytooryctocoenoses from five localities. The plant remains occur in mudstone and siltstone beds and mudstones intercalated with siltstones within lacustrine and lagoonal-lacustrine strata. They consist predominantly of *Neuropteris ovata* pteridosperms with less common calamitaleans and ferns of rich species diversity. Such composition of assemblages indicates that the pteridosperms *Neuropteris ovata* with a high species abundance were widespread within coastal lowlands along with ferns and sphenopsids with a low species abundance.

Table 6. **Phytosociological table characterising the association of pteridosperm-fern communities of coastal lowlands in the Toretskian time** (legend see in Table 1)

Таблиця 6. **Фітосоціологічна таблиця, яка характеризує асоціацію угруповань птеридоспермів та папоротей прибережних рівнин в торецький час** (умовні позначення в Таблиці 1)

Diagnostic species	Plant fossil localities					Constancy classes
	Volchanovka	Kalynove-1	Chernyshove-1	Svitlanove-3b	Memrik gully	
	Locality number					
	2	9	6	5	18	
	Number of species					
	5	3	8	3	2	
The *Neuropteridetum ovatae* association (Toretskian)						
Neuropteris ovata	a	c	n	c	r	V
Dicksoniites sterzelii	r					I
Crenulopteris lamuriana		c				I
Acitheca polymorpha			r	r		II
'Pecopteris' bredovii			r		r	II
'Pecopteris' paleacea	r					I
Nemejcopteris feminaeformis			r			I
Sphenopteris rossica			r		r	II
Calamites cistii				r		I
C. suckowii			r			I
Asterophyllites equisetiformis			r			I
Annularia mucronata	r					I
A. stellata	r		r			II
A. sphenophylloides			r			I

Lycopsid-fern-pteridosperm-calamitalean communities of deltaic plains were reconstructed on the basis of parautochthonous and less represented allochthonous remains of subsigillarian stems, fern and pteridosperm pinnae, calamitalean leafy shoots and stems in light grey and greenish-grey, thinly bedded siltstones interbedded with cross-bedded siltstones and fine-grained sandstones that underlie limestone beds (lacustrine deltaic and deltaic facies). The well-preserved fragments of fern, pteridosperm and calamitalean foliage that are concentrated in horizontally bedded siltstones indicate the plant growth within original habitats (parautochthonous floral assemblages). The portions of subsigillarian stems, small parts of fern and pteridosperm pinnae and isolated pteridosperm pinnules in siltstone beds within proluvial-deltaic successions constitute allochthonous plant assemblages.

Association *Subsigillario biangulae–Acithecetum polymorphae* Shchogolev et Boyarina ass. nov.

Toretskian time (Table 7)

Typus. Kalynove-3a (interval between the O_4^6 and O_5 limestone beds).

Diagnostic species. *Acitheca polymorpha*, *Subsigillaria biangula* (Weiss) Shchogolev, *S. halensis* (Weiss) Shchogolev, *S. sulcata* Shchogolev, *S. weissii* Shchogolev, *Syringodendron angustum* Shchogolev, *S. brardii* Shchogolev, *Sigillariophylloides* sp., *Cyathocarpus* cf. *candolleanus* (Brongniart) Weiss, *'Pecopteris'* aff. *mironovana* Zalessky et Tschirkova, *Calamites* sp., *Annularia stellata*, *A. sphenophylloides*, *Neurodontopteris auriculata* (Brongniart) Potonié, *Barthelopteris germarii* (Giebel) Zodrow et Cleal, and *Odontopteris* cf. *schlotheimii* Brongniart.

Description. The association was identified on the basis of the phytooryctocoenoses from five localities. The plant fossils occur in siltstones and fine-grained sandstones within deltaic and proluvial-deltaic successions. All plant assemblages include the fragments of subsigillarians. The phytooryctocoenosis in the Kalynove-3a locality, which is the nomenclatural type of this association, occurs in the strata consisting of intercalated siltstone and fine-grained sandstone beds that are interpeted as deltaic and proluvial-deltaic deposits. This plant assemblage includes the numerous fragments of *Acitheca polymorpha* pinnnae in siltstone beds, as well as the rare remains of subsigillarians, calamitaleans, pteridosperms, and ferns in fine-grained sandstones.

Table 7. **Phytosociological table characterising the association of lycopsid-fern-pteridosperm-calamitean communities of deltaic plains in the Toretskian time** (legend see in Table 1)

Таблиця 7. **Фітосоціологічна таблиця, яка характеризує асоціацію угруповань плаунових, папоротей, птеридоспермів та каламітів дельтових рівнин в торецький час** (умовні позначення в Таблиці 1)

Diagnostic species	Plant fossil localities					Constancy classes
	Kalynove-3a	Kartanash-c	Chernyshove-3	Svitlanove-1a	Svitlanove-3c	
	Locality number					
	11	1	8	3	5	
	Number of species					
	12	1	2	2	2	
The *Subsigillario biangullae–Acithecetum polymorphae* association (Toretskian)						
Acitheca polymorpha	n			r		II
Subsigillaria biangula	r					I
S. halensis					r	I
S. sulcata		r				I
S. weissii				r	r	II
Syringodendron angustum			r			I
S. brardii	r		r			II
Sigillariophylloides sp.	r					I
Cyathocarpus cf. *candolleanus*	r					I
'Pecopteris' aff. *mironovana*	r					I
Calamites sp.	r					I
Annularia stellata	r					I
A. sphenophylloides	r					I
Neurodontopteris auriculata	r					I
Barthelopteris germarii	r					I
Odontopteris cf. *schlotheimii*	r					I

Association *Subsigillario brardii–Odontopteridetum schlotheimii* Boyarina ass. nov.

Kalynovian time (Table 8)

Typus. Krasnyi Pahar-b (below the P_4 limestone bed).

Diagnostic species. *Odontopteris schlotheimii*, *Subsigillaria brardii* (Brongniart) Weiss emend. Shchogolev, *S. donetciana* Shchogolev, *S. fimbriata* Shchogolev, *S. simplex* Shchogolev, *Syringodendron brardii*, *Sigillariostrobophyllum* sp., *Neuropteris crassinervis* Shchogolev ms., *Neurodontopteris auriculata*, *Barthelopteris germarii*, *Cyathocarpus densifolius*, *C. hemitelioides*, *'Pecopteris' jongmansii*, *'Pecopteris' mironovana*, *'Pecopteris' paleacea*, *'Pecopteris' platonii* Grand'Eury, *'Pecopteris' potoniei* Nemejc, *Remia* aff. *pinnatifida* (Gutbier) Knight emend. Cleal, *Sphenopteris rossica*, *Calamites* cf. *schutzeiformis* Kidston et Jongmans, *C. suckowii*, *Annularia mucronata*, *A. sphenophylloides*, *A. stellata*, *Asterophyllites equisetiformis*, *Cordaites principalis* (Germar) Geinitz.

Description. The association was identified on the basis of nine phytooryctocoenoses from seven localities. The plant remains were discovered in siltstones, sandstones and less frequently in mudstones that are interpreted as lacustrine-deltaic, deltaic and proluvial-deltaic deposits. One from these phytooryctocoenoses (Krasnyi Pahar-a) include *Calamites* sp., *Annularia mucronata*, *Sphenophyllum* cf. *thonii* Mahr, *'Pecopteris' paleacea*, *'Pecopteris' potoniei* in grey unbedded lacustrine-lagoonal siltstones that contain numerous freshwater pelecypods too. The plant fossils in the Krasnyi Pahar-b locality were found in the green-grey siltstones from a lacustrine-deltaic succession. This plant assemblage is dominated by the foliage of *Odontopteris schlotheimii*. The other assemblages are predominantly represented by rare remains of subsigillarians, pteridosperms, ferns, and calamitaleans. It indicates that the plant communities of deltaic plains had a rich and diverse species composition. Of the diagnostic species of this association, subsigillarian species, the pteridosperms of *Odontopteris schlotheimii*, *Neuropteris crassinervis*, *Neurodontopteris auriculata*, *Barthelopteris germarii*, the ferns

of *'Pecopteris' mironovana*, *'Pecopteris' paleacea*, and *'Pecopteris' platonii* are characteristic species. The ferns of *Cyathocarpus densifolius*, *C. hemitelioides*, *'Pecopteris' jongmansii*, *'Pecopteris' potoniei*, *Sphenopteris rossica* and calamitaleans are differential species because they were part of the plant communities of coastal lowlands too.

Table 8. **Phytosociological table characterising the association of lycopsid-fern-pteridosperm-calamitean communities of deltaic plains in the Kalynovian time** (legend see in Table 1)

Таблиця 8. **Фітосоціологічна таблиця, яка характеризує асоціацію угруповань плаунових, папоротей, птеридоспермів та каламітів дельтових рівнин в калинівський час** (умовні позначення в Таблиці 1)

Diagnostic species	Plant fossil localities									Constancy classes
	Krasnyi Pahar-a	Krasnyi Pahar-b	Kalynove-4a	Kalynove-6	Borehole No. 7168	Troyitske-1a	Troyitske-1b	Troyitske-2c	Kravetska gully	
	Locality number									
	22	22	12	14	38	19	19	20	21	
	Number of species									
	3	6	5	4	2	2	3	1	7	
The *Subsigillario brardii–Odontopteridetum schlotheimii* association (Kalynovian)										
Odontopteris schlotheimii		a		r	r					II
Subsigillaria brardii		r			r					II
S. donetciana			r							I
S. fimbriata									r	I
S. simplex								r		I
Syringodendron brardii						r				I
Sigillariostrobophyllum sp.									r	I
Neuropteris crassinervis				r			r			II
Neurodontopteris auriculata							r			I
Barthelopteris germarii	r	r	r							II
Cyathocarpus densifolius				r						I
C. hemitelioides	r									I
'Pecopteris' jongmansii			r							I
'Pecopteris' mironovana			r							I
'Pecopteris' paleacea		r								I
'Pecopteris' platonii				r						I
'Pecopteri' potoniei		r								I
Remia aff. *pinnatifida*									r	I
Sphenopteris rossica									r	I
Calamites cf. *schutzeiformis*						r				I
C. suckowii							r			I
Annularia mucronata	r	r							r	II
A. sphenophylloides									r	I
A. stellata									r	I
Asterophyllites equisetiformis					r					I
Cordaites principalis			r							I

Calamitalean-fern community of the shores of lakes within deltaic plains was reconstructed on the basis of the fragments of calamitaleans and ferns from grey thinly bedded mudstones that occur in a deltaic succession underlying limestones (lacustrine facies).

Association *Annularia mucronatae–'Pecopteridetum' paleaceae* Boyarina ass. nov.

Kalynovian time

Typus. Krasnyi Pahar-c (below the P_4 limestone bed).

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

Description. The association was identified on the basis of one plant assemblage from lacustrine light-grey mudstones occuring in a lacustrine-deltaic succession. This assemblage includes the common remains of *Annularia mucronata*, *'Pecopteris' paleacea* and the single small fragments of the *Calamites multiramis* stems and the *Odontopteris schlotheimii* pinnae.

1.3. Tropical wetland woodlands

The wetland woodlands have been identified on the basis of the sporadic phytooryctocoenoses from Luganskian lacustrine and deltaic deposits and Vyskrivskian lacustrine-lagoonal deposits. The fossil assemblages include the rare remains of ferns, calamitaleans and pteridosperms. The occasional plant-bearing beds that contain single plant fossils in a context of the reduction in the number of coal seams in the Luganskian section and the predominance of red rocks in the Vyskrivskian section may indicate the spread of low-density forests, which are referred to as woodlands in modern geobotany. The absence of dense forests and the related lack of a significant peat accumulation in the Luganskian (middle Gzhelian) and Vyskrivskian (late Gzhelian) times are in agreement with an increasing climate aridization in the Late Pennsylvanian [Fielding *et al.* 2008; DiMichele *et al.* 2009; Pfefferkorn *et al*. 2017]. The reconstructed plant communities belong to the following types.

Calamitalean-fern communities of the shores of lakes within coastal lowlands were reconstructed on the basis of the small fragments of fern pinnae and calamitean stems from the grey and bluish-grey, thinly bedded mudstones in the lagoonal succession between limestones in the Luganskian, as well as from the grey and dark-grey, vaguely laminated mudstones intercalated with carbonate interbeds in the Vyskrivskian (lacustrine facies).

Association *Calamito–'Pecopteridetum' jongmansii* Boyarina et Shchogolev ass. nov.

Luganskian time

Typus. Luganske-4 (interval between the P_6 and P_6^2 limestone beds).

Diagnostic species. *'Pecopteris' jongmansii*, *Calamites* sp., *Cyathocarpus daubreei* (Zeiller) De Stefani, *'Pecopteris' martinezii* Stockmans et Willière, *'Pecopteris' monyi* Zeiller, *'Pecopteris' oreopteridia* (Schlotheim) Sternberg, *Sphenopteris* cf. *castelli* Zeiller, and *S. fayolii-mathetii* Zeiller.

Description. The association was identified on the basis of one phytooryctocoenosis in the Luganske-4 locality. The plant remains were found in grey to bluish-grey mudstones that occur in the lagoonal succeession consisting of an intercalation of grey mudstones, brown-grey siltstones and grey fine-grained sandstones. The fossils are represented by rare plant remains, except for the commom remains of the *'Pecopteris' jongmansii* pinnae.

Association *Calamito crookensis–Cyathocarpetum daubreei* Boyarina ass. nov.

Vyskrivskian time (Table 9)

Typus. The Kalynove quarry-a (interval between two grey mudstone beds with the Q_4 and Q_6 carbonate interbeds).

Diagnostic species. *Cyathocarpus daubreei*, *Calamites crookensis* Mamay et Read, *Cyathocarpus arboreus*, *C. hemitelioides*, *Pecopteris plumosa* (Artis) Brongniart, *'Pecopteris' bredovii*, *'Pecopteris' jongmansii*, *'Pecopteris' martinezi*, *'Pecopteris' obliquenervis* Corsin, *'Pecopteris' potoniei*, *'Pecopteris' truncata*, *'Pecopteris'* cf. *viannae* Teixeira, *Diplazites unitus*, *Sphenopteris* cf. *fayolii*, *Calamites carinatus* Sternberg, *C. multiramus*, *C. vandergrachtii* Kidston et Jongmans, and *Asterophyllites equisetiformis.*

Description. The association was identified on the basis of four phytooryctocoenoses from three localities. The fossils are presented by charred plant remains in dark grey mudstones (Kalynove quarry-a), compressed plant remains with brown organic matter in lacustrine light grey unbedded mudstones (Kalynove quarry-b) and lacustrine-lagoonal grey, vaguely laminated siltstones (Novgorodske). The taxonomically diverse plant assemblage from the Kalynove quarry-a locality is represented by rare fossils (low species abundance), except for the numerous specimens of *Cyathocarpus daubreei*. In other two localities, rare plant remains belong only to a few taxa.

Pteridosperm-fern-calamitalean communities of deltaic plains were reconstructed on the basis of the remains of fern and pteridosperm pinnae and calamitean stems from greenish-grey mudstones and siltstones within lagoonal-deltaic successions (lacustrine-deltaic and deltaic facies).

Table 9. **Phytosociological table characterising the association of calamitean-fern communities of the lake shores within coastal lowlands in the Vyskrivkian time** (legend see in Table 1)

Таблиця 9. **Фітосоціологічна таблиця, яка характеризує асоціацію угруповань каламітів та папоротей узбереж озер в межах прибережних рівнин в вискрівський час** (умовні позначення в Таблиці 1)

Diagnostic species	Plant fossil localities				Constancy classes
	Kalynove quarry-a	Kalynove quarry-b	Borehole No. 4395	Novgorodske	
	Locality number				
	32	32	44	29	
	Number of species				
	9	7	2	4	
The *Calamito crookensis–Cyathocarpetum daubreei* association (Vyskrivkian)					
Cyathocarpus daubreei	n				II
Calamites crookensis	r	r			III
Cyathocarpus arboreus		r			II
C. hemitelioides		r			II
'Pecopters' bredovii	r		r		III
'Pecopters' jongmansii	r				II
'Pecopters' martinezi	r				II
'Pecopters' obliquenervis				r	II
Pecopters plumosa		r		r	III
'Pecopters' potoniei	r				II
'Pecopters' truncata				r	II
'Pecopters' cf. *viannae*	r	r			III
Diplazites unitus				r	II
Sphenopteris cf. *fayolii*	r				II
Calamites carinatus	r				II
C. multiramus		r			II
C. vandergrachtii		r			II
Asterophyllites equisetiformis			r		II

Association *Neuropterido crassinervis–'Pecopteridetum' arcuatae* Shchogolev et Boyarina ass. nov.

Luganskian time (Table 10)

Typus. Luganske-1a (below the P_6 limestone bed).

Diagnostic species. *Neuropteris crassinervis*, *'Pecopteris' arcuata* Halle, *Neurodontopteris auriculata*, *Calamites suckowii*, and *Calamites* sp.

Description. The association was identified on the basis of two phytooryctocoenoses in the Luganske-1 locality. The fossils occur in greenish-grey siltstones with mudstone beds (Luganske-1a, lacustrine-deltaic deposits) and in vaguely laminated micaceous siltstones (Luganske-1b, deltaic deposits). The plant remains of *Neuropteris crassinervis* are predominated in these two assemblages.

Pteridosperm-fern communities of coastal lowlands were reconstructed on the basis of the small fragments of fern and pteridosperm pinnae in the grey to greenish-grey mudstones intercalated with carbonate interbeds (lacustrine facies).

Association *Odontopterido schlotheimii–'Pecopteridetum' bredovii* Boyarina ass. nov.

Vyskrivskian time (Table 10)

Typus. Borehole No. 4377 (interval between two grey mudstone beds with the Q_4 and Q_7 carbonate interbeds).

Diagnostic species. *Odontopteris schlotheimii, 'Pecopteris' bredovii*, *'Pecopteris' monyi, Polymorphopteris subelegans* (Potonié) Wagner, *Nemejcopteris feminaeformis*, *Odontopteris subcrenulata* (Rost) Zeiller, *Barthelopteris germarii*, *Calamites cistii*, and *C. paleaceus* Stur.

Description. The association was identified on the basis of the phytooryctocoenoses from two localities. The rare plant fossils are found in lacustrine greenish-grey mudstones (borehole No. 4377)

and grey mudstones with varvelike laminations within the grey mudstone bed with the Q_3 carbonate interbed (Kamyshevaha locality). The plant remains of *'Pecopteris' bredovii* and *Odontopteris schlotheimii* are present in two phytooryctocoenoses.

Table 10. **Phytosociological tables characterising the associations of pteridosperm-fern-calamitean communities of deltaic plains in the Luganskian time and pteridosperm-fern-communities of coastal lowlands in the Vyskrivkian time** (legend see in Table 1)

Таблиця 10. **Фітосоціологічні таблиці, які характеризують асоціації угруповань птеридоспермів, папоротей та каламітів дельтових рівнин в луганський час та угруповань птеридоспермів і папоротей прибережних рівнин у вискрівський час** (умовні позначення в Таблиці 1)

Diagnostic species	Plant fossil localities				Constancy classes
	Luganske-1a	Luganske-1b	Borehole No. 4377	Kamyshevaha	
	Locality number				
	25	25	45	31	
	Number of species				
	3	3	3	8	
The *Neuropterido crassinervis–'Pecopteridetum' arcuatae* association (Luganskian)					
Neuropteris crassinervis	n	a			V
'Pecopteris' arcuata	a				III
Neurodontopteris auriculata		r			III
Calamites suckowii		r			III
Calamites sp.	r				III
The *Odontopterido schlotheimii–'Pecopteridetum' bredovii* association (Vyskrivkian)					
Odontopteris schlotheimii			r	r	V
'Pecopteris' bredovii			r	r	V
'Pecopteris' monyi			r		III
Polymorphopteris subelegans				r	III
Nemejcopteris feminaeformis				r	III
Odontopteris subcrenulata				r	III
Barthelopteris germarii				r	III
Calamites cistii				r	III
C. paleaceus				r	III

1.4. Tropical seasonally dry woodlands

The seasonally dry woodlands are reconstructed on the basis of phytooryctocoenoses that are represented by the following: the small parts of cordaite leaves and conifer shoots from floodplain and channel deposits (allochthonous remains) in the Toretskian, Kalynovian and Luganskian; the well-preserved fragments of peltaspermalean pteridosperm fronds and pinnae from floodplain-lacustrine deposits (parautochthonous remains) and small portions of pteridosperm pinnae and isolated pinnules from floodplain deposits (allochthonous floral assemblages) in the Luganskian; the small fragments of pteridosperm and fern pinnae as well as calamitaleans from lacustrine-lagoonal red-brown mudstone deposits (parautochthonous remains) and the small allochthonous remains of conifer shoots from lacustrine-lagoonal red-brown siltstone deposits intercalated with sandstones in the Vyskrivian. These macrofossils indicate that seasonally dry woodlands in the Donets Basin were widespread within fluvial landscapes during the Late Pennsylvanian time and had occupied coastal plains only at the end of the Pennsylvanian. The following communities are related to seasonally dry woodlands.

Pteridosperm-cordaitalean communities of floodplains and river valley slopes were reconstructed on the basis of the allochthonous fragments of pteridosperm pinnae, cordaitalean leaves and coniferous branches from the light-grey and greenish-grey, thinly to thicly bedded micaceous siltstones, fine-grained sandstones and silty sandstones occurring within intercalated siltstone and sandstone beds of fluvial successions (floodplain facies).

Association *Cordaito–Odontopteridetum subcrenulatae* Shchogolev et Boyarina ass. nov.

Toretskian and Kalynovian times (Table 11)

Typus. Kartanash-b (interval between the n_3^1 coal seam and the N_5^1 limestone bed).

Diagnostic species. *Odontopteris subcrenulata*, *Cordaites* sp., *C.* cf. *borassifolia* (Sternberg) Unger, and *Odontopteris naumichana* Zalessky.

Description. The association was identified on the basis of three phytooryctocoenoses from Toretskian (Kartanash-b) and Kalynovian (borehole No. 741, Troitske-2b) deposits. The Toretskian and Kalynovian plant assemblages from fluvial successions include the rare plant fossils of two name-giving species for this association. The plant remains are collected in floodplain and proluvial-floodplain strata that are comprised of ligth-grey, fine- to middle-bedded, horizontally- and cross-laminated siltstones occuring above channel middle- and coarse-grained, cross-laminated sandstones (Kartanash-b) and in fine- to middle-grained sandstones (Troitske-2b).

Table 11. **Phytosociological tables characterising the associations of pteridosperm-cordaitean communities of floodplains and river valley slopes in the Toretskian and Kalynovian times and pteridosperm-communities of floodplains in the Luganskian time** (legend see in Table 1)

Таблиця 11. **Фітосоціологічні таблиці, які характеризують асоціації угруповань птеридоспермів та кордаїтів заплав та схилів річкових долин в торецький та калинівський часи та угруповань птеридоспермів заплав в луганський час** (умовні позначення в Таблиці 1)

Diagnostic species	Plant fossil localities						Constancy classes
	Kartanash-b	Borehole No. 741	Troyitske-2b	Luganske-2g	Luganske-2b	Myronivske-2	
	Locality number						
	1	39	20	26	26	24	
	Number of species						
	7	2	2	10	6	7	
The *Cordaito–Odontopteridetum subcrenulatae* association (Toretskian and Kalynovian)							
Odontopteris subcrenulata	c	r	r				IV
Cordaites sp.	r	r	r				IV
C. cf. *borassifolia*	r						II
Odontopteris naumichana	r						II
Samaropsis pinnata	r						II
S. var. *acuminata*	r						II
Dadoxylon sp.	r						II
The *Lodevio suberosae–Odontopteridetum subcrenulatae* association (Luganskian)							
Odontopteris subcrenulata				c		r	IV
Lodevia suberosa				r	r		IV
Odontopteris brardii						r	II
O. schlotheimii				r		r	IV
Autunia conferta				c			II
A. naumannii				c			II
Lodevia nicklesii				c			II
L. luganica				r			II
Dichophyllum cuneatum				c			II
D. flabelliferum				r			II
Neurocallipteris cf. *planchardii*					r		II
Neurodontopteris auriculata					c		II
Sphenocallipteris scythica						r	II
Calamites cistii						r	II
C. suckowii					r		II
'Pecopteris' cf. *platonii*						r	II
Otovicia hypnoides						r	II
Culmitzschia frondosa					r		II
Cordaites sp.				r	r		IV

Association *Lodevio suberosae–Odontopteridetum subcrenulatae* Boyarina et Shchogolev ass. nov.

Luganskian time (Table 11)

Typus. Luganske-2g (below the P_6 limestone bed).

Diagnostic species. *Odontopteris subcrenulata*, *Lodevia suberosa* (Sterzel) Haubold et Kerp, *Neurodontopteris auriculata*, *Neurocallipteris* cf. *planchardii* (Zeiller) Cleal, Shute et Zodrow, *Odontopteris brardii* (Brongniart) Brongniart, *O. schlotheimii, Autunia conferta* (Sternberg) Kerp, *A. naumannii* (Gutbier) Kerp, *Dichophyllum cuneatum* Boyarina, *D. flabelliferum* (Weiss) Kerp et Haubold, *Lodevia nicklesii* (Zeiller) Haubold et Kerp, *L. luganica* (Boyarina et Shchogolev) Boyarina, *Sphenocallipteris scythica* (Zalessky) Kryshtofovich et Novik, *'Pecopteris'* cf. *platonii*, *Calamites cistii*, *C. suckowii*, *Cordaites* sp., *Otovicia hypnoides* (Brongniart) Kerp, Poort, Swinkels et Verwer, and *Culmitzschia frondosa* (Renault) Clement-Westerhof.

Description. The association was identified on the basis of three phytooryctocoenoses from two localities. The plant assemblages with predominantly rare remains are characterised by a rich species composition. The plant fossils occur in greenish-grey vaguely to thinly bedded mudstone and siltstone beds within a floodplain succession consisting of an intercalation of mudstones, siltstones and fine-grained sandstones. These data indicate that in the Luganskian time the plant communities of floodplains and river valley slopes continued to include odontopterid pteridosperms and cordaiteans, as well as were replenished with peltaspermean pteridosperms.

Pteridosperm communities of floodplains were reconstructed on the basis of the fragments of pteridosperm fronds and pinnae from light-grey and greenish-grey, vaguely to thinly bedded siltstones and mudstones intercalated with fine-grained sandstones and silty sandstones (floodplain-lacustrine facies).

Association *Lodevio nicklesii–Autunietum naumannii* Boyarina et Shchogolev ass. nov.

Luganskian time (Table 12)

Typus. Luganske-2d (below the P_6 limestone bed).

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

Description. The association was identified on the basis of three phytooryctocoenoses from the Luganske-2a, Luganske-2d, and Luganske-2e localities. The floral assemblages are dominated by *Autunia naumannii* and *Lodevia nicklesii*. They were collected in floodplain-lacustrine greenish-grey mudstones, siltstones with mudstone beds, mudstones intercalated with siltstones an*d* fine-grained sandstones. The peltaspermean pteridosperms *Autunia naumannii, A. conferta*, *Lodevia nicklesii* and *L. luganica* are characterised by high species abundance and constancy values.

Calamitalean-fern-pteridosperm community of the shores of floodplain lakes was reconstructed on the basis of the well-preserved remains of pteridosperm and fern fronds and pinnae, calamitalean leafy shoots from the greenish-grey massive unbedded mudstones (lacustrine facies) that occur within a floodplain succession consisting of greenish-grey, vaguely to thinly bedded siltstone and mudstone beds.

Association *'Pecopterido' bredovii–Raminervietum mariopteroidis* Boyarina ass. nov.

Luganskian time

Typus. Luganske-2c (below the P_6 limestone bed).

Diagnostic species. *Raminervia mariopteroides* Boyarina, *'Pecopteris' bredovii*, *Sphenopteris fayolii*, and *Asterophyllites equisetiformis.*

Description. The association was identified on the basis of a single phytooryctocoenosis in the Luganske-2c locality. Abundant callipterids *Raminervia mariopteroides* and a few fragments of fern pinnae were found in the greenish-grey unbedded mudstones that are interpreted as lacustrine facies.

Table 12. **Phytosociological tables characterising the associations calamitean-fern-pteridosperm communities of the shores of floodplain lakes in the Luganskian time and fern-pteridosperm-communities of lake-lagoon coasts in the Vyskrivkian time** (legend see in Table 1)

Таблиця 12. **Фітосоціологічні таблиці, які характеризують асоціації угруповань каламітів, папоротей і птеридоспермів узбереж заплавних озер в луганський час та угруповань папоротей і птеридоспермів озерно-лагунних узбереж в вискрівський час** (умовні позначення в Таблиці 1)

Diagnostic species	Plant fossil localities								Constancy classes
	Luganske-2d	Luganske-2a	Luganske-2e	Kalynove quarry-c	Borehole No. 4395	Keramic quarry	Borehole No. 4377	Borehole No. 4385	
	Locality number								
	26	26	26	32	44	30	45	46	
	Number of species								
	8	4	5	4	2	3	2	1	
The *Lodevio nicklesii–Autunietum naumannii* association (Luganskian)									
Autunia naumannii	a	c	c						V
Lodevia nicklesii	a	c							IV
Autunia conferta	r	r							IV
Lodevia luganica	r	r	r						V
L. suberosa	r								II
Dichophyllum cuneatum	r								II
Odontopteris lingulata			r						II
O. subcrenulata	r								II
Neurocallipteris planchardii	r								II
Neurodontopteris auriculata			r						II
Polymorphopteris subelegans			r						II
The *Sphenopteridio germanici–Cyathocarpetum daubreei* association (Vyskrivkian)									
Cyathocarpus daubreei				c	r	r			III
Sphenopteridium germanicum				r					I
Sphenocallipteris scythica							r		I
Cyathocarpus arboreus					r		r		II
'Pecopteris' bioti						r			I
'Pecopteris' jongmansii						r		r	II
Polymorphopteris subelegans				r					I
Calamites sp.				r					I

Pteridosperms *Raminervia mariopteroides* together with ferns were a part of the plant community that grew on the shores of floodplain lakes. *Raminervia mariopteroides* is a characteristic species of the association because it was not found in other phytooryctocoenoses.

Pteridosperm-fern communities of shores of lagoons and lakes were reconstructed on the basis of the small fragments of fern and pteridosperm pinnae, calamitalean leafy shoots and stems from the red-brown unbedded, occasionally lumpy mudstones with blue- and greenish-grey spots that occur in thick red siltstone and mudstone strata (lacustrine-lagoonal facies).

Association *Sphenopteridio germanici–Cyathocarpetum daubreei* Boyarina ass. nov.

Vyskrivskian time (Table 12)

Typus. Kalynove quarry (interval between two grey mudstone beds with the Q_4 and Q_6 carbonate interbeds).

Diagnostic species. *Cyathocarpus daubreei*, *Sphenopteridium germanicum* (Weiss) Kerp et DiMichele, *Cyathocarpus arboreus*, *'Pecopteris' bioti* Brongniart, *'Pecopteris' jongmansii*, *Polymorphopteris subelegans*, *Sphenocallipteris scythica*, and *Calamites* sp.

Description. The association was identified on the basis of the phytooryctocoenoses from five localities. The rare fern and pteridisperm remains are found in brownish-red unbedded mudstones with blue spots, brownish-red lumpy mudstones with blue and dark brown spots and brownish-red mudstones with blue-green spots that are interpreted as lacustrine-lagoonal deposits. Taking into consideration the possible conspecifity of *Sphenocallipteris scythica* (= *Sphenopteris scythica* Zalessky)

and *Sphenopteridium germanicum* (= *Sphenopteris germanica* Weiss) [Zalessky 1937], *Sphenopteridium germanicum* and *Cyathocarpus daubreei* with middle constancy values are assigned as name-giving species for this association.

Conifer communities of river valley slopes were reconstructed on the basis of the allochthonous fragments of coniferous branches and seeds from light-grey and greenish-grey, thinly to thicly bedded micaceous siltstones, fine-grained sandstones and fine-grained silty sandstones occurring within or above thick middle-grained and cross-laminated sandstone strata (floodplain facies).

Association *Walchio piniformis–Otovicietum hypnoidis* Shchogolev et Boyarina ass. nov.

Toretskian time (Table 13)

Typus. Kartanash-a (interval between the n_3^1 coal seam and the N_5^1 limestone bed).

Diagnostic species. *Otovicia hypnoides*, *Walchia piniformis* (Schlotheim) Sternberg et Clement-Westerhof, *Culmitzschia* cf. *angustifolia* (Florin) Clement-Westerhof, *C. hirmeri* (Florin) Clement-Westerhof, *C. parvifolia* (Florin) Kerp et Clement-Westerhof, *Samaropsis delafondii* (Zeiller) Florin var. *acuminata* Shchogolev, *S. pinnata* Shchogolev, *Samarospermum moravicum* (Helmhacker) Arber, and *Walchiostrobus* sp.

Description. The association was identified on the basis of the phytooryctocoenoses from the Kartanash locality and three boreholes. The numerous coniferous remains in the Kartanash locality are dominated by *Walchia piniformis*, *Otovicia hypnoides*, *Culmitzschia parvifolia*, and *C. hirmeri.* These plant fossils were collected in ligth-grey fine-grained sandstones with the interbeds of horizontally- to cross-laminated siltstones.

Table 13. **Phytosociological tables characterising the associations of conifer communities of river valley slopes and coastal levees in the Toretskian, Kalynovian and Luganskian times** (legend see in Table 1)

Таблиця 13. **Фітосоціологічні таблиці, які характеризують асоціації угруповань хвойних схилів річкових долин та прибережних валів в торецький, калинівський і луганський часи** (умовні позначення в Таблиці 1)

Diagnostic species	Plant fossil localities								Constancy classes
	Kartanash-a	Borehole No. 232	Borehole No. A-3	Borehole No. 181	Borehole No. 443	Luganske-2f	Luganske-2b	Myronivske-2	
	Locality number								
	1	37	40	42	41	26	26	24	
	Number of species								
	8	11	11	1	1	1	3	1	
The *Walchio piniformis–Otovicietum hypnoidis* association (Toretskian)									
Otovicia hypnoides	c	r	r						IV
Walchia piniformis	a			r					III
Culmitzschia cf. *angustifolia*	r								II
C. hirmeri	c								II
C. parvifolia	c								II
Samaropsis var. *acuminata*	c								II
S. pinnata	c								II
Samarospermum moravicum	c								II
The *Otovicietum hypnoidis* association (Kalynovian)									
Otovicia hypnoides		r			r				IV
Walchia piniformis			r						II
The *Culmitzschietum frondosae* association (Luganskian)									
Culmitzchia frondosa						c			II
Otovicia hypnoides								r	II
Samaropsis bachmutiensis							r		II
S. spinifera							r		II
Samarospermum moravicum							r		II

Association *Otovicietum hypnoidis* Shchogolev et Boyarina ass. nov.

Kalynovian time (Table 13)

Typus. Borehole No. 443 (below the P_3 limestone bed).).

Diagnostic species. *Otovicia hypnoides* and *Walchia piniformis.*

Description. The association was identified on the basis of the phytooryctocoenoses from three boreholes. The rare branche fragments of *Otovicia hypnoides* and *Walchia piniformis* were found in grey silty sandstones.

Association *Culmitzschietum frondosae* Boyarina ass. nov.

Luganskian time (Table 13)

Typus. Luganske-2f (below the P_6 limestone bed).

Diagnostic species. *Culmitzchia frondosa*, *Otovicia hypnoides*, *Samaropsis bachmutiensis* Boyarina, *S. spinifera* Boyarina, and *Samarospermum moravicum.*

Description. The association was identified on the basis of three phytooryctocoenoses from two localities. The coniferous remains occur in greenish-grey siltstones intercalated with sandstones (Luganske-2f). The rare conifers *Otovicia hypnoides* in the Myronivske-2 locality are found in fine-grained sandstones. The conifer seeds were collected in the floodplain succession consisting of intercalated greenish-grey mudstone and siltstone beds (Luganske-2b).

Conifer community of coastal levees was reconstructed on the basis of the fragment of a coniferous branche from the brownish-red sandstone bed that occur within the red rocks consisting of siltstones intercalated with mudstones and rare sandstones (lacustrine-lagoonal facies). The single specimen of a coniferous branche found in unfossiliferous red strata is important for floristic characteristics. Palaeophythosociological interpretations based on this plant fossil are only hypothetical.

Association *Culmitzchietum mucronatae* Boyarina ass. nov.

Vyskrivskian time

Typus. Novgorodske (interval between two grey mudstone beds with the Q_1 and Q_3 carbonate interbeds)

Diagnostic species. *Culmitzchia mucronata* (Florin) Clement-Westerhof.

Description. The association was identified on the basis of the phytooryctocoenosis from the Novgorodske locality. A branche of *Culmitzchia* cf. *mucronata* was found in brownish-red sandstones.

2. Prodromus of the Late Pennsylvanian vegetation of the Donets Basin

2.1. Approaches to the identification of syntaxonomic units

The ecological and floristic classification of vegetation by the Braun-Blanquet method consists in the identification of plant community types (syntaxa) from the lowest rank (association) to the higher ranks (alliance, order, and class) based on the floristic composition and ecological conditions of plant communities [Braun-Blanquet 1964]. The associations as the basic units of this classification are grouped within the same landscape type into the syntaxa of higher ranks. In doing so, either floristic or ecological criteria come to the fore in the syntaxa of different ranks. Thus, classes are large physiognomic and ecological units, whereas orders are established as variants of classes according to floristic features, and alliances are the ecological variants of orders [Mirkin & Naumova 2014]. For the identification of alliances and orders, characteristic species among diagnostic species provide valid criteria [Braun-Blanquet 1964; Willner 2020]. The alliances contain its own characteristic species that are common to several or all associations of an alliance. The alliances are merged into an order, the diagnostic species of which include the characteristic species of all alliances.

The palaeophytocoenotic and palaeoecological interpretations, which have been proposed on the basis of 69 phytooryctocoenoses from the Late Pennsylvanian of the Donets Basin, allowed to identify 21 associations. According to the habitat of associations, they have been referred to 21 alliances. The

alliances of the certain landscape types have been grouped into 16 orders that differ in the set of diagnostic species in each of four time intervals of the Late Pennsylvanian (i.e. Toretskian, Kalynovian, Luganskian and Vyskrivskian) and belong to 11 classes. The latter include the orders of one or several time intervals in conformity with the types of landscape and vegetation.

Based on the described plant associations and the analysis of their characteristic species, the prodromus of plant communities was compiled that reveals the changing syntaxonomic composition of the vegetation cover of the Donets Basin of four time intervals in the Late Pennsylvanian.

2.2. Prodromus and characterisation of syntaxa

Class *Sphenophyllo–Calamitetea* Boyarina cl. nov.

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

Age: Kasimovian, Gzhelian.

Order *Sphenophyllo oblongifolii–Calamitetalia suckowii* Boyarina ord. nov.

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

Age: Kasimovian (Toretskian), early Gzhelian (Kalynovian) and middle Gzhelian (Luganskian).

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

Alliance *Sphenophyllo oblongifolii–Calamition suckowii* Boyarina all. nov.

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

Age: as for the order.

Diagnostic species: as for the order.

Association *Sphenophyllo oblongifolii–Calamitetum suckowii* Shchogolev et Boyarina ass. nov.

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

Order *Lilpopio raciborskii–Calamitetalia cistii* Boyarina ord. nov.

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

Age: late Gzhelian (Vyskrivkian).

Diagnostic species: *Calamites cistii*, *Lilpopia raciborskii*, *Calamites crookensis*, *C. vandergrachtii*, and *Sphenophyllum verticillatum*.

Alliance *Lilpopio raciborskii–Calamition cistii* Boyarina all. nov.

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

Diagnostic species: as for the order.

Association *Lilpopio raciborskii–Calamitetum cistii* Boyarina ass. nov.

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

Class *Marattietea* Boyarina cl. nov.

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

Age: Kasimovian, early Gzhelian (Kalynovian).

Order *Neuropterido ovatae–Crenulopteridetalia lamurianae* Boyarina ord. nov.

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

Age: Kasimovian (Toretskian).

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

Alliance *Calamito suckowii–Crenulopteridion lamurianae* Boyarina all. nov.

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

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

Association *Calamito suckowii–Crenulopteridetum lamurianae* Shchogolev et Boyarina ass. nov.

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

Alliance *Neuropteridion ovatae* Boyarina all. nov.

Fern-pteridosperm communities of coastal lowlands.

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

Association *Neuropteridetum ovatae* Shchogolev et Boyarina ass. nov.

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

Order *Calamito suckowii–Cyathocarpetalia densifoliae* Boyaria ord. nov.

Calamitalean-fern forests on coastal lowlands.

Age: early Gzhelian (Kalynovian).

Diagnostic species: *Cyathocarpus densifolius*, *Calamites suckowii*, *Cyathocarpus arboreus*, *C. cyatheus*, *C. hemitelioides*, *'Pecopteris' jongmansii*, *'Pecopteris' platonii*, *'Pecopteris' truncata*, *Diplazites unitus*, *Nemejcopteris feminaeformis*, *Annularia sphenophylloides*, *A. stellata*, and *Odontopteris cantabrica.*

Alliance *Calamito suckowii–Cyathocarpion densifoliae* Boyarina all. nov.

Calamitalean-fern communities on lake shores within coastal lowlands.

Diagnostic species: as for the order.

Association *Calamito suckowii–Cyathocarpetum densifoliae* Shchogolev et Boyarina ass. nov.

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

Class *Sigillario–Marattietea* Boyarina cl. nov.

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

Age: Kasimovian.

Order *Subsigillario–Acithecetalia polymorphae* Boyarina ord. nov.

Subsigillarian lycopsid and marattialean fern forests of deltaic plains.

Age: Kasimovian (Toretskian).

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

Alliance *Subsigillario biangulae–Acithecion polymorphae* Boyarina all. nov.

Lycopsid-fern-calamitalean communities of deltaic plains.

Diagnostic species: *Acitheca polymorpha*, *Subsigillaria biangula*, *S. halensis*, *S. sulcata*, *S. weissii*, *Syringodendron angustum*, *S. brardii*, *Sigillariophylloides* sp., *Cyathocarpus* cf. *candolleaus*, *'Pecopteris'* aff. *mironovana*, *Calamites* sp., *Annularia stellata*, and *A. sphenophylloides.*

Association *Subsigillario biangulae–Acithecetum polymorphae* Shchogolev et Boyarina ass. nov.

Diagnostic species: *Acitheca polymorpha*, *Subsigillaria biangula*, *S. halensis*, *S. sulcata*, *S. weissii*, *Syringodendron angustum*, *S. brardii*, *Sigillariophylloides* sp., *Cyathocarpus* cf. *candolleaus*, *'Pecopteris'* aff. *mironovana*, *Calamites* sp., *Annularia stellata*, *A. sphenophylloides*, *Neurodontopteris auriculata*, *Barthelopteris germarii*, and *Odontopteris* cf. *schlotheimii.*

Class *Sigillario–Odontopteridetea* Boyarina cl. nov.

Tropical wetland forests on deltaic plains with lycopsids, pteridosperms and marattialean ferns.

Age: early Gzhelian (Kalynovian).

Order *Subsigillario–Odontopteridetalia schlotheimii* Boyarina ord. nov.

Lycopsid-pteridospermalean and calamitalean-fern forests of deltaic plains.

Age: early Gzhelian (Kalynovian).

Diagnostic species: *Odontopteris schlotheimii*, *Subsigillaria brardii*, *S. donetciana*, *S. fimbriata*, *S. simplex*, *Syringodendron brardii*, *Sigillariostrobophyllum* sp., *Neuropteris crassinervis*, *Neurodontopteris auriculata*, *Barthelopteris germarii*, *'Pecopteris' mironovana*, *'Pecopteris' paleacea*, *'Pecopteris' platonii*, and *Cordaites* sp.

Alliance *Subsigillario brardii–Odontopteridion schlotheimii* Boyarina all. nov.

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

Diagnostic species: *Odontopteris schlotheimii*, *Subsigillaria brardii*, *S. donetciana*, *S. fimbriata*, *S. simplex*, *Syringodendron brardii*, *Sigillariostrobophyllum* sp., *Neuropteris crassinervis*, *Neurodontopteris auriculata*, *Barthelopteris germarii*, *'Pecopteris' mironovana*, *'Pecopteris' paleacea*, *'Pecopteris' platonii*, and *Cordaites* sp.

Association *Subsigillario brardii–Odontopteridetum schlotheimii* Boyarina ass. nov.

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

Alliance *Annulario mucronatae–'Pecopteridion' paleaceae* Boyarina all. nov.

Calamitalean-fern communities of the shores of deltaic lakes.

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

Association *Annulario mucronatae–'Pecopteridetum' paleaceae* Boyarina ass. nov.

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

Class *Calamito–Marattietea* Boyarina cl. nov.

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

Age: middle Gzhelian (Luganskian).

Order *Calamito–'Pecopteridetalia' jongmansii* Boyarina ord. nov.

Woodlands on coastal lowlands with calamitaleans and marattialean ferns.

Age: middle Gzhelian (Luganskian).

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

Alliance *Calamito–'Pecopteridion' jongmansii* Boyarina all. nov.

Calamitalean-fern communities on lake shores within coastal lowlands.

Diagnostic species: as for the order.

Association *Calamito–'Pecopteridetum' jongmansii* Boyarina et Shchogolev ass. nov.

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

Class *Neuropterido–Marattietea* Boyarina cl. nov.

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

Age: middle Gzhelian (Luganskian).

Order *Neuropterido crassinervis–'Pecopteridetalia' arcuatae* Boyarina ord. nov.

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

Age: middle Gzhelian (Luganskian).

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

Alliance *Neuropterido crassinervis–'Pecopteridion' arcuatae* Boyarina all. nov.

Pteridosperm-fern-calamitalean communities of deltaic plains.

Diagnostic species: as for the order.

Association *Neuropterido crassinervis–'Pecopteridetum' arcuatae* Shchogolev et Boyarina ass. nov.

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

Class *Odontopterido–Marattietea* Boyarina cl. nov.

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

Age: late Gzhelian (Vyskrivkian).

Order *Odontopterido schlotheimii–Cyathocarpetalia daubreei* Boyarina ord. nov.

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

Age: late Gzhelian (Vyskrivkian).

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

Alliance *Calamito–Cyathocarpion daubreei* Boyarina all. nov.

Calamitalean-fern communities of lake shores within coastal lowlands.

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

Association *Calamito crookensis–Cyathocarpetum daubreei* Boyarina ass. nov.

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

Alliance *Odontopterido schlotheimii–'Pecopteridion' bredovii* Boyarina all. nov.

Pteridosperm-fern communities of coastal lowlands.

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

Association *Odontopterido schlotheimii–'Pecopteridetum' bredovii* Boyarina ass. nov.

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

Class *Cordaito–Odontopteridetea* Boyarina cl. nov.

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

Age: Kasimovian (Toretskian) and early Gzhelian (Kalynovian).

Order *Cordaito–Odontopteridetalia subcrenulatae* Boyarina ord. nov.

Cordaitalean woodlands of river valleys with pteridosperm shrubs.

Age: as for the class.

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

Alliance *Cordaito–Odontopteridion subcrenulatae* Boyarina all. nov.

Pteridosperm-cordaitean communities of floodplains and river valley slopes.

Diagnostic species: as for the order.

Association *Cordaito–Odontopteridetum subcrenulatae* Shchogolev et Boyarina ass. nov.

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

Class *Peltaspermetea* Boyarina cl. nov.

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

Age: middle Gzhelian (Luganskian).

Order *Autunietalia conferto–naumannii* Boyarina ord. nov.

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

Age: middle Gzhelian (Luganskian).

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

Alliance *Lodevio nicklesii–Autunion naumannii* Boyarina all. nov.

Pteridosperm communities of floodplains.

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

Association *Lodevio nicklesii–Autunietum naumannii* Boyarina et Shchogolev ass. nov.

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

Alliance *'Pecopterido' bredovii–Raminervion mariopteroidis* Boyarina all. nov.

Pteridosperm-fern communities of lake shores within floodplains.

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

Association *'Pecopterido' bredovii–Raminervietum mariopteroidis* Boyarina ass. nov.

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

Alliance *Lodevio suberosae–Odontopteridion subcrenulatae* Boyarina all. nov.

Cordaitean-pteridosperm communities of levees and river valley slopes.

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

Association *Lodevio suberosae–Odontopteridetum subcrenulatae* Boyarina et Shchogolev ass. nov.

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

Class *Lyginopteridio–Marattietea* Boyarina cl. nov.

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

Age: late Gzhelian (Vyskrivkian).

Order *Sphenopteridio germanici–Cyathocarpetalia daubreei* Boyarina ord. nov.

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

Age: late Gzhelian (Vyskrivkian).

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

Alliance *Sphenopteridio germanici–Cyathocarpion daubreei* Boyarina all. nov.

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

Diagnostic species: as for the order.

Association *Sphenopteridio germanici–Cyathocarpetum daubreei* Boyarina ass. nov.

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

Class *Walchietea* Boyarina cl. nov

Coniferous woodlands of river valleys and coastal levees.

Age: Kasimovian and Gzhelian**.**

Order *Walchio piniformis–Otovicietalia hypnoidis* Boyarina ord. nov.

Walchian conifer woodlands in river valleys.

Age: Kasimovian (Toretskian).

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

Alliance *Walchio piniformis–Otovicion hypnoidis* Boyarina all. nov.

Conifer communities of river valley slopes.

Diagnostic species: as for the order.

Association *Walchio piniformis–Otovicietum hypnoidis* Shchogolev at Boyarina ass. nov.

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

Order *Otovicietalia hypnoidis* Boyarina ord. nov.

Walchian conifer woodlands in river valleys.

Age: early Gzhelian (Kalynovian).

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

Alliance *Otovicion hypnoidis* Boyarina all. nov.

Conifer communities of river valleys slopes.

Diagnostic species: as for the order.

Association *Otovicietum hypnoidis* Shchogolev at Boyarina ass. nov.

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

Order *Culmitzchietalia frondosae* Boyarina ord. nov.

Walchian conifer woodlands in river valleys.

Age: middle Gzhelian (Luganskian).

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

Alliance *Culmitzchion frondosae* Boyarina all. nov.

Conifer communities of river valley slopes.

Diagnostic species: as for the order.

Association *Culmitzchietum frondosae* Boyarina ass. nov.

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

Order *Culmitzchietalia mucronatae* Boyarina ord. nov.

Walchian conifer woodlands on coastal levees.

Age: late Gzhelian (Vyskrivkian).

Diagnostic species: *Culmitzchietum mucronata*.

Alliance *Culmitzchion mucronatae* Boyarina all. nov.

Conifer communities of coastal levees.

Diagnostic species: as for the order.

Association *Culmitzchietum mucronatae* Boyarina ass. nov.

Diagnostic species: *Culmitzchietum mucronata*.

Conclusions

The reconstruction and classification of Late Pennsylvanian plant communities were carried out based on the study of 69 phytooryctocoenoses from more than 30 plant fossil localities and 20 boreholes of the Donets Basin. The studied plant fossil assemblages were found in Kasimovian and Gzhelian lacustrine, swamp, deltaic, floodplain and lagoonal deposits.

The description of 21 plant associations and the classification of Kasimovian and Gzhelian plant communities were conducted according to the Braun-Blanquet approach to vegetation classification.

The composed prodromus of the plant communities of coastal lowlands, deltaic plains, floodplains, and river valley slopes reveals the changing syntaxonomic composition of vegetation cover of the Donets Basin in different time intervals of the Late Pennsylvanian.

Acknowledgments

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). The author is grateful to the scientific editor Igor V. Zagorodniuk and Ph.D Vitaliy S. Dernov for valuable suggestions and comments on the manuscript and the editor Z. Barkaszi for proofreading the manuscript. The author expresses special gratitude to Adam T. Halamski and Zbyněk Šimůnek for the comprehensive review of the manuscript, recommendations and constructive corrections aimed at improving the text.

References

Aleksandrova, V. D. 1969. *Vegetation classification. Overview of classification principles and classification systems in different geobotanical schools.* Nauka, Moskow, 1–275. [In Russian]

Barthel, M. 1976. Die Rotliegendflora Sachsens. *Abhandlungen Staatliches Museum für Mineralogie und Geologie (Dresden)*, **24**: 1–190.

Bashforth, A. R., H. J. Falcon-Lang, M. R. Gibling. 2010. Vegetation heterogeneity on a Late Pennsylvanian braided-river plain draining the Variscan Mountains, La Magdalena coalfield, northwest Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology,* **292 (3-4)**: 367–390. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.03.037

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

Blakey, R. C. 2007. Carboniferous–Permian palaeogeography of the Assembly of Pangae. *Proceedings of the XVth International Congress on Carboniferous and Permian Stratigraphy. Utrecht, 10–16 August 2003. Royal Dutch Academy of Arts and Sciences (Amsterdam)*, 443–456.

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. 1994. Callipterid pteridosperms from the Early Permian of Ukraine. *Acta Palaeontologica Polonica,* **39 (1)**: 117–133.

Boyarina, N. I. 1995. Phytocoenosis characteristic of the Late Carboniferous–Early Permian for the Donets Basin of Ukraine. *Proceeding of the XIII International Congress on the Carboniferous and Permian.* Part 1. Warszawa, 213–218.

Boyarina, N. I. 2006a. Late Stephanian – early Autunian flora of the Kartamysh Suite of the Donets Basin. *Paleontologichnyj zbirnyk*, **38**: 3–10. [In Ukrainian]

Boyarina, N. I. 2006b. The late Carboniferous *Odontopteris* Brongniart of the Donets Basin: morphology, plant-bearing sedimentary facies and distribution. *Modern directions of Ukrainian geological science: Collection of scientific works of the Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine.* Kyiv, 182–189. [In Russian]

Boyarina, N. I. 2006c. To the question of the classification of the Gzhelian and early Asselian vegetation of the Western Donbass. *Geological studies in Ukraine: Collection of scientific works for the 75th anniversary of Professor O. P. Fisunenko.* Alma-mater, Lugansk, 20–27. [In 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. 2016a. The late Carboniferous palaeophytocoenoses of the Donets Basin (according to the classification of vegetation by the Brawn-Blanke 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. 2016b. The middle and upper Carboniferous (Pennsylvanian subsystem) megafloral zones of the Donets Basin. *Geologichnyj zhurnal*, **1 (354)**: 21–35. [In Russian] https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2016.1.97280

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., A. K. Shchogolev. 1989. New callipteris from the upper part of the Araucaritova Suite of the Donbass as an indicator of the Carboniferous-Permian event boundary. *Geologichnyj zhurnal*, **3**: 97–104. [In Russian]

Braun-Blanquet, J. 1951. *Pflanzensociologie. Grundzüge der Vegetationskunde.* 2nd. ed. Springer-Verlag, Aufl. Wien, 1–631.

Braun-Blanquet, J. 1964. *Pflanzensociologie. Grundzüge der Vegetationskunde*. 3nd. ed. Springer-Verlag, Aufl. Wien, 1–865.

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.

DiMichele, W. A., T. L. Phillips. 1988. Palaeoecology of the middle Pennsylvanian-age Herrin coal swamp (Illinois) near a contemporaneous river system, the Walshville Palaeochannel. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **56**: 151–176. https://doi.org/10.1016/0034-6667(88)90080-2

DiMichele, W. A., T. L. Phillips. 1994. Palaeobotanical and palaeoecological constraints on models of peat formation in the Late Carboniferous of Euramerica. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **106**: 39–90. https://doi.org/10.1016/0031-0182(94)90004-3

DiMichele, W. A., H. Pfefferkorn, R. A. Gastaldo. 2001. Response of the Late Carboniferous and Early Permian plant communities to climate change. *Annual Review Earth Planetary Science*, **29**: 461–487. https://doi.org/10.1146/annurev.earth.29.1.461

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., I. P. Montañez, C. J. Poulsen, N. J. Tabor. 2009. Climate and vegetational regime shifts in the late Palaeozoic ice age earth. *Geobiology*, **7**: 200–226. https://doi.org/10.1111/j.1472-4669.2009.00192.x
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 Pangaea. *International Journal Coal Geology*, **83**: 329–344. https://doi.org/10.1016/j.coal.2010.01.007
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
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** (1–4): 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
Falcon-Lang, H. J. 2003. Late Carboniferous tropical dryland vegetation in an alluvial-plain setting. *Palaios*, **18**: 197–211. https://doi.org/10.1669/0883-1351(2003)018<0197:LCTDVI>2.0.CO;2
Falcon-Lang, H. J, W. J. Nelson, S. Elrick, C. V. Looy, P. R. Ames, W. A. DiMichele. 2009. Incised channel fills containing conifers indicate that seasonally dry vegetation dominated Pennsylvanian tropical lowlands. *Geology*, **37**: 923–926. https://doi.org/10.1130/G30117A.1
Falcon-Lang, H. J., S. G. Lucas, H. Kerp, K. Krainer, I. P. Montañez, [et al.]. 2015. Early Permian (Asselian) vegetation from a seasonally dry coast in western equatorial Pangea: Paleoecology and evolutionary significance. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **433**: 158–173. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2015.05.010
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 Palaeozoic ice age – A review of current understanding and synthesis of global climate patterns. *Resolving the Late Palaeozoic Ice Age in Time and Space: Geological Society of America Special Paper*, **441**: 343–354. https://doi.org/10.1130/2008.2441(24)
Fissunenko, O. P. 1979. Plant palaeosuccessions in the Carboniferous in the Donets Basin and their possible causes. *Proceedings of the XXII session of the VPO*. Nauka, Leningrad, 210–227. [In Russian]
Fissunenko, O. P. 1987. Landscapes of the middle Carboniferous of the Donets Basin. *Paleontology and reconstruction of the geological history of paleobasins: Proceedings of the XXIX session of the VPO*. Nauka, Leningrad, 92–99. [In Russian]
Gastaldo, R. A., H. W. Pfefferkorn, W. A. DiMichele. 1995. Taphonomic and sedimentologic characterization of roof-shale floras. *In:* Lyons, P. C., Morey, E. D., and Wagner, R. H. (eds.). *Historical Perspective of Early Twentieth Century Carboniferous Paleobotany in North America (W.C. Darrah volume): Geological Society of America Memoir 185. Geological Society of America.* Boulder, 341–352. https://doi.org/10.1130/MEM185-p341
Gothan, W., O. Gimm. 1930. Neuere Beobachtungen und Betrachtungen über die Flora des Rotliegenden von Thüringen. *Arbeiten aus dem Institut für Paläontologie und Petrographie der Brennsteine*, **2** (1): 39–74.
Ignatiev, I. A. 1992. Braun-Blanquet method in paleobotany. *Biologicheskie nauki,* **5**: 26–34. [In Russian]
Ignatiev, I. A. 2016. Phytosociological approach to the study of ancient plant communities. 1. Basic principles. *Lethaea rossica*, **13**: 65-79. [In Russian]
Ignatiev, I. A. 2020. Phytosociological approach to the study of ancient plant communities. 2. Parasyntaxonomy of Permian phytocoena of the Pechora coal basin and Fore-Urals. *Lethaea rossica*, **21**: 1–53. [In Russian]
Iwaniw, E. 1985. Floral palaeoecology of debris flow dominated valley-fill deposits in the lower Cantabrian of NE León, NW Spain. *In:* Lemos de Sousa, M. J., Wagner, R. H. (eds.). *Papers on the Carboniferous of the Iberian Peninsula (Sedimentology, Stratigraphy, Palaeontology, Tectonics and Geochronology): Anais da Faculdade de Ciências.* Universidade do Porto, **64**: 284–357.
Lyons, P. C., W. C. Darrah. 1989. Earliest conifers of North America: upland and/or palaeoclimatic indicators. *Palaios*, **4**: 480–486. https://doi.org/10.2307/3514592
Mirkin, B. M., L. G. Naumova. 2014. History and conceptual settings for the classification of plant communities with the use of the Braun-Blanquet approach. *Lethaea rossica*, **9**: 21–34. [In Russian]
Mirkin, B. M., L. G. Naumova. 2017. Introduction to Modern Vegetation Science. GEOS, Moscow, 1–280. [In Russian]
Němejc, F. 1951. K výskytu Callipteridů v obzoru slojí rosicko-oslavanských a k otázce stáří tohoto slojového pásma. *Sborník Ústředního ústavu Geologického*, **18**: 425–436.
Naugolnykh, S. V. 2007. Permian floras of the Urals. *Transactions of the Geological Institute*, **524**. GEOS, Moscow, 1–322. [In Russian]
Oshurkova, M. V. 1974. Facial-palaeoecological approach to the study of fossil plant remains. *Paleontologicheskij zhurnal*, **3**: 87–96. [In Russian]

Oshurkova, M. V. 1987. Phytooryctocoenoses as indicators of landscape change during the formation of coal deposits. *Paleontology and reconstruction of the geological history of palaeobasins: Proceedings of the XXIX session of the VPO*. Nauka, Leningrad, 29–34. [In Russian]
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. https://doi.org/10.29041/strat.14.1-4.365-376
Phillips, T. L., W. A. DiMichele. 1998. A transect through a clastic-swamp to peat-swamp ecotone in the Springfield Coal, Middle Pennsylvanian Age of Indiana, USA. *Palaios*, **13**: 113–128. https://doi.org/10.2307/3515484
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]
Radchenko, G. P. 1964. Criteria and methods of the palaeogeographic reconstructions of the former conditions in the areas of ancient land based on palaeontological data. *Methods of palaeogeographic research*. Moscow, 167–183. [In Russian]
Retallack, J. G. 1977. Reconstructing Triassic vegetation of eastern Australasia: a new approach for the biostratigraphy of Gondwanaland. *Alcheringa*, **1**: 247–277. https://doi.org/10.1080/03115517708527763
Raymond, A. 1987. Interpreting ancient swamp communities: Can we see the forest in the peat? *Review of Palaeobotany and Palynology,* **52**: 217–231. https://doi.org/10.1016/0034-6667(87)90055-8
Scott, A. C. 1977. A review of the ecology of Carboniferous plant assemblages with new data. *Palaeontology*, **20**: 447–473.
Scott, A. C. 1979. The ecology of Coal Measure floras from northern Britain. *Proceeding of the Geologists' Association,* **90**: 97–116. https://doi.org/10.1016/S0016-7878(79)80013-9
Shchogolev, O. K. 1960. On the question of the boundary of the Carboniferous and Permian in the Donets Basin (according to fossil flora. *Geological Journal*, **20 (1)**: 44–56. [In Ukrainian]
Shchogolev, O. 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]
Shchogolev, O. 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. *Stratigraphy of the Carboniferous and geology of coal-bearing formations of the USSR: Proceedings of the VII Intern. Congress on Stratigraphy and Geological of the Carboniferous.* Nedra, Moskow, 101–108. [In Russian]
Shchogolev, O. K. 1985. Evolution of the Late Carboniferous vegetation cover of the Westphalian Province, its regularities and significance for stratigraphy: author's abstract. dis. … dr. geol.-mineral. sciences: 04.00.09. Leningrad, 1–35. [In Russian]
Shchogolev, O. K. 1991. *Lycopsida and Sphenopsida of the Late Carboniferous*. Naukova dumka, Kyiv, 1–128. [In Russian]
Theurillat, J.-P., W. Willner, F. Fernández-González, H. Bültmann, A. Čarni, [et al.]. 2021. International Code of Phytosociological Nomenclature. 4th edition. *Applied Vegetation Science*, **24 (1)**: 1–62. https://doi.org/10.1111/avsc.12491
Westhoff, V., E. van der. Maarel. 1973. The Braun-Blanquet approach. *In: Handbook of vegetation science. Pt. 5. Ordination and classification of vegetation.* Dr. W. Junk b. v. Publishers, The Hague, 619–726. https://doi.org/10.1007/978-94-010-2701-4_20
Willner, W. 2020. What is an alliance?. *Vegetation Classification and Survey*, **1**: 139–144. https://doi.org/10.3897/VCS/2020/56372
Winston, R. B. 1983. A Late Pennsylvanian upland flora in Kansas: systematics and environmental implications. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **40**: 5–31. https://doi.org/10.1016/0034-6667(83)90003-9
Whittaker, R. H. 1962. Classification of natural communities. *Botanical Review*, **28**: 1–239. https://doi.org/10.1007/BF02860872
Zalessky, M. D. 1937. Sur quelques vegetaux fossiles nouveaux des terrains Carbonifere et Permien du bassin du Donetz. *Problems of Paleontology*, **2–3**:155–193.
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]

GEO&BIO

2023 • vol. 24, pp 99–105
https://doi.org/10.53452/gb2407

Neoichnology of vertebrate traces along the western barrier coast of Ukraine: preservation potential and subsurface visualization

Ilya Buynevich

Temple University (Philadelphia, USA)

article info

key words

Taphonomy, georadar, liman, paleoichnology.

correspondence to

Ilya V. Buynevich; Department of Earth and Environmental Science, Temple University; 1901 N 13th Street, Philadelphia 19122, USA; Email: coast@temple.edu; orcid: 0000-0002-3840-0208

article history

Submitted: 23.03.2023. Revised: 16.05.2023. Accepted: 30.06.2023

cite as

Buynevich, I. V. 2023. Neoichnology of vertebrate traces along the western barrier coast of Ukraine: preservation potential and subsurface visualization. *GEO&BIO*, **24**: 99–105. [In English, with Ukrainian summary]

abstract

A diverse suite of vertebrate traces covers beach, aeolian, and bay-side (deflation flats) surfaces along the NW Black Sea coast of Ukraine. These include avian, ungulate, and canid footprints (length >5 cm; depth ~2 cm), as well as mammal burrows. The preservation of biogenic structures is enhanced by rapid burial (low-energy sedimentation or event deposition), algal mat formation, and salt encrustation. Continuous high-frequency (800 MHz) ground-penetrating radar (GPR) imaging aided in visualizing subsurface sections of an active burrow complex within a beach-dune ridge. Images near an active fox burrow captured distinct subsurface anomalies (point-source hyperbolic diffractions) in the upper aeolian section above the water table. Unfilled tunnel sections are easily distinguished from buried roots and other targets based on signal velocity and polarity reversals relative to air-to-sediment response at the ground surface. The diffraction geometry (angle) is related to signal velocity, providing valuable information about relative saturation of the overlying substrate. Decimeter-scale deformation of shallow reflections may be attributed to tracking surfaces, with similar examples found immediately below modern surfaces affected by anthropogenic trampling. It is likely that muddy lagoonal tracking surfaces may be preserved under layers of sand (overwash or aeolian deposition) and, following saltwater expulsion, may be recognized in geophysical images as clear deformed paleo-surfaces. Heavy-mineral concentrations (e.g. magnetite-rich sand) are common for beach and dune horizons that have undergone reworking and such anomalies often accentuate physical and biogenic deformation structures. Due to moderate-to-high fraction of ferri- and paramagnetic minerals, these anomalies are also well-expressed in GPR images due to its electromagnetic signal response. A conceptual framework of trace preservation potential (taphonomy) and geophysical recognition (GPR) suitability is proposed for this coastal region, with implications to paleo-environmental reconstruction.

© 2023 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.

Неоіхнологія слідів хребетних уздовж західного бар'єрного узбережжя України: потенціал збереження та підповерхнева візуалізація

Ілля Буйнєвич

Резюме. Велика кількість різноманітних слідів хребетних залишається на пляжних, еолових (площинах дефляції) та лагунних поверхнях уздовж північно-західного чорноморського узбережжя України. До них відносяться сліди пташиних, копитних і псових (довжина >5 см; глибина ~2 см), а також нори ссавців. Збереження біогенних структур забезпечується періодичним захороненням (завдяки швидкому накопиченню осадків «низької енергії»), утворенням водоростевого мату та сольовою інкрустацією. Безперервна високочастотна (800 МГц) георадарна зйомка допомогла візуалізувати підповерхневі ділянки активного комплексу нір у межах пляжно-дюнної гряди. На зображеннях поблизу активної лисячої нори були зафіксовані чіткі під поверхневі аномалії (гіперболічна дифракція точкового джерела) у верхній еоловій частині над рівнем ґрунтових вод. Незаповнені секції тунелю легко відрізнити від розгалуження коріння та інших цілей на основі швидкості сигналу та зміни полярності відносно реакції повітря на осад на поверхні землі. Геометрія (кут) дифракції пов'язана зі швидкістю сигналу, надаючи цінну інформацію про відносну насиченість субстрату, що лежить вище. Дециметрову деформацію неглибоких відображень можна віднести до поверхонь стеження, і подібні приклади знайдені безпосередньо під сучасними поверхнями «антропогенного витоптування». Цілком імовірно, що мулисті лагунні поверхні відстеження можуть зберігатися під шарами піску (заливні або еолові відкладення) і, після викиду вітром бризок солоної води, можуть бути розпізнані на геофізичних зображеннях як чіткі деформовані давні поверхні. Концентрації важких мінералів (наприклад, багатий магнетитом пісок) є звичайними для пляжів і горизонтів дюн, які зазнали переробки. Такі аномалії часто підкреслюють фізичні та біогенні деформаційні структури. Через наявність середнього до високого вмісту феро- та парамагнітних мінералів, ці аномалії також добре виражені на зображеннях георадару завдяки відповіді електромагнітного сигналу. Для цього прибережного регіону запропоновано концептуальну основу потенціалу збереження слідів (тафономія) та геофізичного розпізнавання, що також може бути використане для палеоекологічної реконструкції.

Ключові слова: Тафономія, георадар, лиман, палеоіхнологія.

Адреса для зв'язку: І. В. Буйнєвич; Департамент наук про Землю та навколишнє середовище, Темпльський університет; вул. 1901, N 13, Філадельфія 19122, США; Email: coast@temple.edu; orcid: 0000-0002-3840-0208

Introduction

Most modern depositional settings associated with aquatic and marginal environments at one time contain many billions of traces produced by a variety of vertebrate [Vialov 1966; Fornós *et al.* 2002; Hasiotis *et al.* 2007; Milàn *et al.* 2007; Buynevich 2015] and invertebrate [Frey & Pemberton 1986; Zonneveld 2016] organisms. However, preservation (taphonomy) and detection of these structures, particularly in unconsolidated sandy and mixed sand-mud substrates (= media) have been long considered to be one of the most challenging aspects in both neo- and paleoichnological research [Loope 1986; Allen 1997; Fanelli *et al.* 2007; Buynevich 2020]. Many larger or persistent traces rework the substrate enough to produce zoogeomorphic-scale impact [Laporte & Behrensmeyer, 1980; Butler, 1995; Scott *et al.* 2008]. In recent decades, novel and refined applications of high-resolution geophysical techniques, such as ground-penetrating radar (GPR or georadar) showed success in effective, rapid, continuous imaging of shallow tracks and large burrows [Stott 1996; Buynevich 2010, 2011; Urban *et al.* 2019]. A combination of field observations and geophysical imaging must be the first integral step in assessing the appearance, preservation potential and recognition of each trace in a particular environment and substrate type.

Coastal accumulation forms (barriers) and back-barrier settings (limans) along the western coast of Ukraine (Bessarabian Liman Coast; Fig. 1 *a*), offers a unique opportunity to investigate a diverse suite of vertebrate traces across rapidly changing sedimentological, hydrological, and ecological gradients. The aims of this study are: 1) description of vertebrate traces in coastal settings; 2) assessment of georadar imaging as a tool for subsurface visualization of vertebrate biogenic structures, and 3) establishment of a conceptual scheme of trace taphonomy and recognition potential.

Materials and Methods

Field research during the summer of 2012 included ground-based photography, measurements, and high-resolution geophysical imaging. Geolocation was provided using a hand-held GPS. Subsurface imaging was conducted using a MALÅ 800 MHz ground-penetrating radar (GPR) system with a monostatic antenna (Fig. 1 *b*). No topographic correction was applied for short segments, with signal velocities of 14 and 6 cm/ns for unsaturated and saturated sands, respectively (based on empirical data and hyperbola fitting; [Chalaib *et al.* 2014]). Radargrams (2D or B-scans) were post-processed in RadExplorer v. 1.41 software package using standard algorithms (for a detailed methodology of neoichnological applications of GPR, see [Buynevich *et al.* 2014]).

Results

Coastal accumulation forms along the Black Sea margin (barriers and back-barrier flats; Fig. 1 *a*) contain a diverse suite of vertebrate and invertebrate traces, with the former being the focus of this study (Fig. 2).

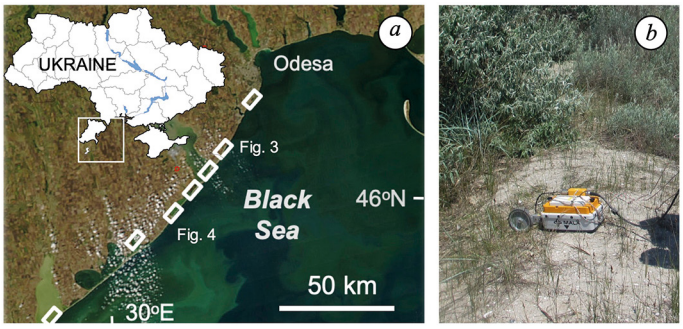


Fig. 1. Location of the study area and subsurface imaging method: (*a*) study area along the coastal accumulation forms (bay-mouth barriers) and back-barrier (liman) flats along the coast between Odesa and the Danube River Delta; (*b*) an 800 MHz georadar antenna on a sandy dune ridge, with an odometer wheel providing along-ground distance.

Рис. 1. Розташування досліджуваної території та геофізичний метод візуалізації під поверхневих об'єктів: (*a*) територія дослідження вздовж форм берегової акумуляції (пересипів) і лагунних (лиманних) накопичень уздовж узбережжя між Одесою та дельтою р. Дунай; (*b*) антена георадару 800 МГц на гряді піщаної дюни з колесом одометра, що визначає відстань уздовж поверхні землі.

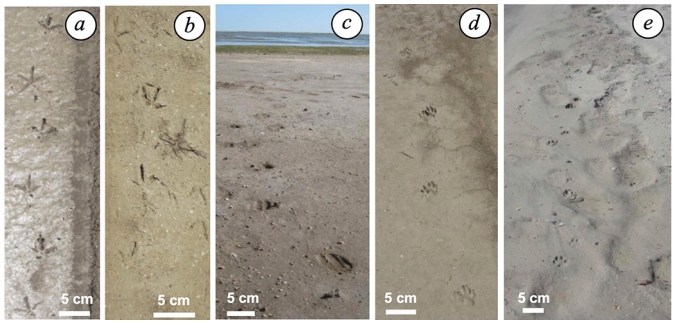


Fig. 2. Examples of vertebrate tracks in modern coastal settings associated with barrier/back-barrier (liman) systems along the NW Black Sea coast of Ukraine: (*a*) avian track in mud; (*b*) avian track in sand; (*c*) bovid (domestic cow) hoofprints in silty sand; (*d*) canid (fox or domestic dog) pawprints in silty sand; (*e*) canid (domestic dog) footprints in sand. Scale bar at bottom is accurate for vertical photos (*a* and *b*) and corresponds to nearby track only in *c*–*e*, as perspective changes with distance.

Рис. 2. Приклади слідів хребетних у сучасних прибережних умовах, пов'язаних із системами бар'єр/лагуна (лиман) уздовж північно-західного чорноморського узбережжя України: (*a*) сліди птахів у мулі; (*b*) пташині сліди у піску; (*c*) сліди ратиць бичачих (домашньої корови) в мулистому піску; (*d*) сліди лап псових (лисиці або домашньої собаки) на мулистому піску; (*e*) сліди пса (домашньої собаки) на піску. Масштабна шкала внизу є точною для вертикальних фотографій (*a* та *b*) і відноситься лише для найближчих слідів — *c*–*e*, оскільки перспектива змінюється з відстанню.

Along the margins of liman flats and deflation basins, there are numerous bird tracks, with or without web impressions (Figs 2 *a*–*b* show many footprints with hallux impressions). Mammalian tracks (other than human) include ungulate hoofprints (Fig. 2 *c*) and canid pawprints (Figs 2 *d*–*e*). Substrate ranges from mud (Fig. 2 *a*) to muddy sand (Figs 2 *b*–*d*) to well sorted sand (Fig. 2 *e*). The latter may contain heavy-mineral concentrations, especially along the beach. Most traces are >5 cm

in size and 0.5–2.0 cm in depth. Many traces along bay (liman) and ridge swale margins showed evidence of encrusting salts and algal mat growth.

Along single-ridge (retrograding) or multiple beach-dune ridge strandplain (prograding) sections, traces in sand include both footprints and bioturbation structures (burrows). Along the Albatross strandplain, a live fox observed near the burrow with a fresh spoil pile at the entrance confirmed its current use (Fig. 3 *a*). A geophysical (GPR) survey, part of a larger geological dataset, was collected over the ridge near the burrow. The image revealed a series of hyperbolic diffractions (T in Fig. 3 *b*) within a background of sub-horizontal bounding surfaces (C in Fig. 3 *b*).

Discussion

The results of this study show a promising potential of neoichnological experiments to *in situ* analysis of track expression in substrates with different geotechnical properties (texture, moisture content; see Fig. 2). Whereas the high salinity prevents immediate georadar imaging, it allows assessing the role of salt encrustation and algal mat formation in improving trace preservation potential.

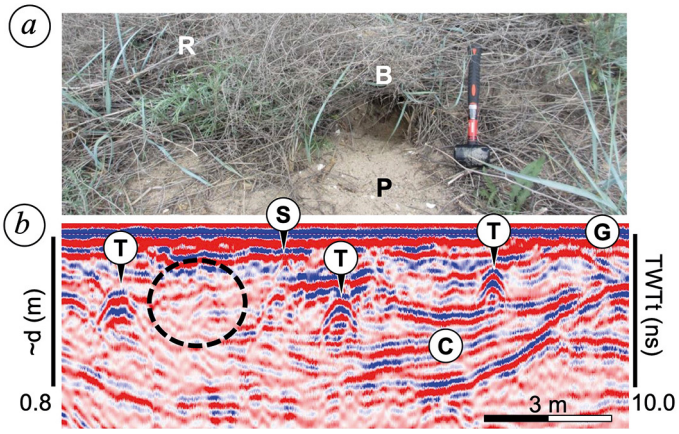


Fig. 3. Georadar image of a dune ridge with large vertebrate burrow complex: (*a*) An entrance to a fox burrow (B) in a vegetated dune ridge (R) along the Black Sea coast of Ukraine. Note a spoil pile (P) in front containing fresh well sorted sand and shell hash (hammer is 35 cm long); (*b*) An 800 MHz GPR image next to the burrow above shows beach (bottom) and aeolian (top) cross-stratification (C), with several hyperbolic diffraction signal returns likely associated with subsurface segments of the burrow complex (T, burrow tunnel top). Highly irregular bounding surfaces (circled area at top left) may represent footprints on aeolian bedding planes. A single acute diffraction (S) just below the ground surface (G) may be the result of a shallow tree root. TwTt, two-way travel time in nanoseconds (ns). (Modified from [Buynevich *et al.* 2014]).

Рис. 3. Георадарне зображення гряди дюни з великим комплексом нір хребетних: (*a*) від до лисячої нори (B) у заростлої гряді дюни (R) уздовж чорноморського узбережжя України. Зверніть увагу на купу відходів (P) перед норою, яка містить свіжий, добре відсортований пісок і мушлі (довжина молотка 35 см); (*b*) зображення георадару 800 МГц поруч із норою вгорі показує перехресну стратифікацію пляжевих (внизу) та еолових відкладів (вгорі) (C) з кількома відбитками гіперболічного дифракційного сигналу, ймовірно, пов'язаними з сегментами комплексу нір під поверхнею (T — вершина тунелю в норі). Інтенсивно деформовані обмежуючі поверхні (обведені колом у верхньому лівому куті) можуть представляти сліди на площинах еолового шару. Одна гостра дифракція (S) безпосередньо під поверхнею землі (G) може бути результатом неглибокого кореня дерева. TwTt — час «екскурсії» в обидві сторони в наносекундах (нс). (Змінено з: [Buynevich *et al.* 2014]).

Along sand-dominated beach-dune ridge complexes, GPR images near an active fox burrow (Fig. 3 *a*) captured a number of distinct subsurface anomalies in the upper (aeolian) section above the water table (Fig. 3 *b*). Unfilled tunnel sections can be easily distinguished from buried roots based on signal velocity and polarity structure: blue-red-blue (-/+/-) vs. red-blue-red (+/-/+) of the air-to-sediment response at the ground surface [Buynevich *et al.* 2014; Chlaib *et al.* 2014]. It may be even possible to identify tracking surfaces by focusing on deformation along bedding surfaces (circled area in Fig. 3 *b* [Milàn *et al.* 2007; Buynevich *et al.* 2015]).

Heavy-mineral concentrations, common for beach and dune horizons that experienced winnowing and deflation, work well at accentuating biogenic deformation structures [van der Lingen & Andrews 1969; Lewis & Titheridge 1978]. Furthermore, thin horizons with moderate-to-high fraction of ferri- and paramagnetic minerals would aid in accentuating sedimentary structures in GPR images

due to its electromagnetic signal response [Buynevich *et al.* 2014; Buynevich 2020]. Along beach/dune ridge complexes, such as this study, such mineralogical anomalies are typical for dune-base and beach sections, in contrast to a relatively quartz-rich dune substrate presented in Fig. 3.

A conceptual framework of relative trace preservation (taphonomic) and recognition (GPR-based visualization) potential is presented in Fig. 4. Preservation increases with rapid burial in low-energy settings (bay sedimentation, aeolian aggradation) or storm wave and wind related event burial [Milàn *et al.* 2007; Buynevich *et al.* 2011]. Within bay (liman) bottoms (e.g. fish traces), along their margins (Fig. 2), and in hypersaline lagoons and swales, salt encrustation and algal mat growth greatly enhances their preservation potential [Frey and Pemberton 1986; Marty *et al.* 2009; Urban *et al.* 2019]. Some of the Tertiary paleo-lagoon settings described by Vialov [1966] in western Ukraine may have had similar paleoenvironmental context. Coastal cliffs composed of loess materials may potentially contain a vast archive of footprints and burrows, with geophysical imaging emerging as a vital technique to locate tracking surfaces.

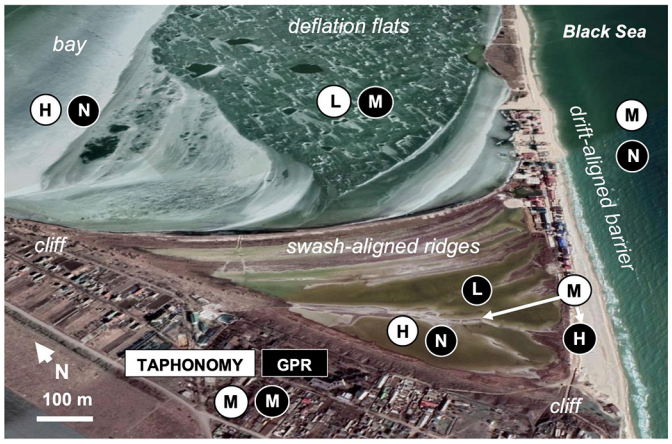


Fig. 4. Generalized scheme of reservation potential and suitability of GPR imaging across an idealized coastal transect (example: GoogleEarth™ image of Budak Liman near Kurortne). White circles refer to preservation potential and black ones to feasibility of georadar imaging (N, none; L, low; M, moderate; H, high).

Рис. 4. Узагальнена схема потенціалу збереженості та придатності георадарних зображень через ідеалізований береговий профіль (приклад: GoogleEarth™ зображення лиману Будак біля Курортного).Білі кружечки вказують на потенціал збереження, а чорні — на можливість отримання георадарних зображень (N — немає, L — низький, M — помірний, H — високий).

Within sand-dominated systems, especially aeolian lithosomes (dunes, loess), not only burrows, but also potential tracking surface deformation (circle in Fig. 3 *b*) can be resolved [Loope 1986; Milàn & Bromley 2006; Milàn *et al.* 2007; Buynevich 2011; Buynevich *et al.* 2014; Urban *et al.* 2019]. GPR imaging is not possible in brackish or saline settings due to signal attenuation; however, exposed upper sections, especially following rainfall events, may potentially increase its suitability (e.g., low beach ridges, deflation flats; Fig. 4).

This study demonstrates a wide suite of vertebrate traces, both surface and subsurface, which have moderate to relatively high preservation potential. Georadar imaging has immediate implications to geological, zoological, ecological, archaeological, and conservation research that relies on non-invasive techniques [Hasiotis *et al.* 2007; Zonneveld 2016; Buynevich 2020]. Future research will combine neoichnological experiments and observations with detailed 3D georadar imaging to refine the approach presented here into the paleoichnological record.

Conclusions

Subaerially exposed coastal accumulation forms (barriers and back-barrier flats) along the Black Sea coast of Ukraine exhibit a diverse suite of vertebrate and invertebrate traces.

High preservation potential is predicted for traces that undergo rapid burial (wave deposition, aeolian aggradation, back-barrier sedimentation), consolidation due to algal mats and salt incrustation (liman flats), and those with subsurface components (burrows).

High-resolution geophysical imaging, such as georadar (frequency > 400 MHz), has a high potential in locating and mapping relict tracking surfaces and buried biogenic structures (large footprints and burrows).

Numerous traces (many billions) in Tertiary and Quaternary sequences can be imaged prior to excavation to uncover relict zoogenic structures, which provide valuable insight into past behavior, substrate properties during trackmaking, and paleoenvironmental context.

Acknowledgments

This research was funded by the National Geographic Society CRE Grant #9041-11 and the College of Science and Technology, Temple University. I express my deepest thanks to Sergey Kadurin, Igor Losev, Dmitry Kolesnik, and Igor Darchenko for their assistance in the field and the Physical and Marine Geology Department, Odesa National University for logistical support.

References

Allen, J. R. L. 1989. Fossil vertebrate tracks and indenter mechanics. *Journal of the Geological Society*, London, **146**: 600–602. https://doi.org/10.1144/gsjgs.146.4.0600

Allen, J. R. L. 1997. Subfossil mammalian tracks (Flandrian) in the Severn Estuary, S.W. Britain: mechanics of formation, preservation and distribution. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, B **352**: 481–518. https://doi.org/10.1098/rstb.1997.0035

Butler, D. R. 1995. *Zoogeomorphology — Animals as geomorphic agents*. Cambridge University Press, Cambridge, 1–240. https://doi.org/10.1017/CBO9780511529900

Buynevich, I. V. 2011. Buried tracks: ichnological applications of high-frequency georadar. *Ichnos*, **18**: 189–191. https://doi.org/10.1080/10420940.2011.632300

Buynevich, I. V., J. S. Darrow, Z. T. A. Grimes, C. T. Seminack, N. Griffis. 2011. Ungulate tracks in coastal sands: recognition and sedimentological significance. *Journal of Coastal Research*, SI **64**: 334–338.

Buynevich, I. V., H. A. Curran, L. A. Wiest, A. P. K. Bentley, S. V. Kadurin. [et al.]. 2014. Near-surface imaging (GPR) of biogenic structures in siliciclastic, carbonate, and gypsum dunes. *In:* Hembree, D. I., B. F. Platt, J. J. Smith (eds). *Experimental Approaches to Understanding Fossil Organisms: Lessons from the Living.* Springer, Dordrecht, the Netherlands, 405–418. https://doi.org/10.1007/978-94-017-8721-5_17

Buynevich, I. V. 2015. Recent vertebrate tracks in sandy substrates and their paleoenvironmental implications: examples from coastal Lithuania. *Baltica*, **28**: 29–40. https://doi.org/10.5200/baltica.2015.28.04

Buynevich, I. V. 2020. Detection of mineralogically accentuated biogenic structures with high-resolution geophysics: implications for ichnology and geoecology. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, **29**: 252–257. https://doi.org/10.15421/112023

Chlaib, H. K., H. Mahdi, H. Al-Shukri, M.M. Su, A. Catakli, N. Abd. 2014. Using ground penetrating radar in levee assessment to detect small-scale animal burrows. *Journal of Applied Geophysics*, **103**: 121–131. https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2014.01.011

Fanelli, F., M. R. Palombo, G. L. Pillola, A. Ibba. 2007. Tracks and trackways of "Praemegaceros" cazioti (Depéret, 1897) (Artiodactyla, Cervidae) in Pleistocene coastal deposits from Sardinia (Western Mediterranean, Italy). *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, **46**: 47–54.

Fornós, J. J., R. G. Bromley, L. A. Clemmensen, A. Rodriguez-Perea. 2002. Tracks and trackways of Myotragus balearicus Bate (Artiodactyla, Caprinae) in Pleistocene aeolianites from Mallorca (Balearic Islands, Western Mediterranean). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **180**: 277–313. https://doi.org/10.1016/S0031-0182(01)00431-X

Frey, R. W., S. G. Pemberton, 1986. Vertebrate Lebensspuren in intertidal and supratidal environments, Holocene barrier islands, Georgia: *Senckenbergiana Maritima*, **18**: 45–99.

Hasiotis, S. T., B. F. Platt, D. I. Hembree, M. Everhart. 2007. The trace-fossil record of vertebrates. *In:* Miller, W., III (ed.) *Trace Fossils-Concepts, Problems, Prospects*. Elsevier Press, 196–218. https://doi.org/10.1016/B978-044452949-7/50138-8

Laporte, L. F., A. K. Behrensmeyer, 1980. Tracks and substrate reworking by terrestrial vertebrates in Quaternary sediments of Kenya. *Journal of Sedimentary Petrology*, **50**: 1337–1346. https://doi.org/10.1306/212F7BE9-2B24-11D7-8648000102C1865D

Lewis, D. W., G. Titheridge. 1978. Small scale sedimentary structures resulting from foot impressions in dune sands. *Journal of Sedimentary Petrology*, **48**: 835–838. https://doi.org/10.1306/212F7581-2B24-11D7-8648000102C1865D

Loope, D. B. 1986. Recognizing and utilizing vertebrate tracks in cross section, Cenozoic hoofprints from Nebraska. *Palaios,* **1**: 141–151. https://doi.org/10.2307/3514507

Marty, D., A. Strasser, C. A. Meyer. 2009. Formation and taphonomy of human footprints in microbial mats of present-day tidal-flat environments: implications for the study of fossil footprints. *Ichnos*, **16**: 127–142. https://doi.org/10.1080/10420940802471027

Milàn, J., R. G. Bromley. 2006. True tracks, undertracks and eroded tracks: experimental work with tetrapod tracks in laboratory and field. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **231**: 253–264.

Milàn, J., L. B. Clemmensen, B. Buchardt, N. Noe-Nygaar. 2007. A late Holocene tracksite in the Lodbjerg dune system, northwest Jylland, Denmark. *In:* Lucas, S. G., J. A. Spielman, M. Lockley. (eds). *Cenozoic vertebrate tracks and traces, vol. 42.* New Mexico Museum of Natural History and Science, Albuquerque, 241–250. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2004.12.022

Scott, J. J., R. W. Renaut, R. B. Owen. 2008. Preservation and paleoenvironmental significance of a footprinted surface on the Sandai Plain, Lake Bogoria, Kenya Rift Valley. *Ichnos*, **15**: 208–231. https://doi.org/10.1080/10420940802470573

Stott, P. 1996. Ground-penetrating radar: a technique for investigating the burrow structure of fossorial vertebrates. *Wildlife Research*, **22**: 519–530. https://doi.org/10.1071/WR9960519

Urban, T. M., M. R. Bennett, D. Bustos, S. W. Manning, S. C. Reynolds, [et al.]. 2019. 3-D radar imaging unlocks the untapped behavioral and biomechanical archive of Pleistocene ghost tracks. *Scientific Reports*, **9**: 16470. https://doi.org/10.1038/s41598-019-52996-8

Van der Lingen, G. J., P. B. Andrews. 1969, Hoof-print structures in beach sand. *Journal of Sedimentary Petrology*, **39**: 350–357. https://doi.org/10.1306/74D71C67-2B21-11D7-8648000102C1865D

Vialov, O. S., 1966. *Traces of the Vital Activity of Organisms and their Paleontological Significance*. Naukova Dumka, Kyiv, 1–219. [In Russian]

Zonneveld, J.-P. 2016. Applications of experimental neoichnology to paleobiological and evolutionary problems. *Palaios*, **31**: 275–279. https://doi.org/10.2110/palo.2016.024

GEO&BIO

2023 • vol. 24, pp 106–140
https://doi.org/10.53452/gb2408

Trace fossils from the Buchak Formation (Lutetian, Eocene) of Luhansk Oblast, Ukraine, and their palaeogeographic significance

Vitaly Dernov[1], Mykola Udovychenko[2]

[1] Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)
[2] Luhansk Taras Shevchenko National University (Poltava, Ukraine)

article info

key words
trace fossils, Eocene, Lutetian, Buchak Formation, Luhansk Oblast, Ukraine.

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

article history
Submitted: 19.01.2023. Revised: 16.03.2023. Accepted: 30.06.2023

cite as
Dernov, V., M. Udovychenko. 2023. Trace fossils from the Buchak Formation (Lutetian, Eocene) of Luhansk Oblast, Ukraine, and their palaeogeographic significance. *GEO&BIO*, **24**: 106–140. [In Ukrainian, with English summary]

abstract

Eleven Fodinichnia, Pascichnia, and Domichnia ichnotaxa (*Apectoichnus longissimus* (Kelly et Bromley, 1984), cf. *Conichnus* isp., *Gastrochaenolites* isp., *Gnathichnus* isp., *Macaronichnus segregatis* Clifton et Thompson, 1978, *Ophiomorpha nodosa* Lundgren, 1891, *Palaeophycus* isp., cf. *Rosselia* isp., *Skolithos linearis* (Haldeman, 1840), *Spongeliomorpha* isp., and *Thalassinoides* isp.) were identified from seven sections of shallow marine sediments of the Buchak Formation (Lutetian, middle Eocene) located in Luhansk Oblast, eastern Ukraine. Traces of bioerosion on the contact surface between the Upper Cretaceous marls and the Buchak Formation indicate the development of the Trypanites Ichnofacies in conditions of high water activity with almost absent sedimentation. Most of the sediments of the Buchak Formation in the study area was formed in the conditions of the Skolithos Ichnofacies, namely in littoral environments with significant water activity, to resist which organisms were forced to build burrow systems. Some time intervals were also characterized by a decrease in the activity of the water, during which the sands of the littoral and probably sublittoral zones were colonized by the trace-makers of *Macaronichnus segregatis* burrows. In places of mass accumulation of wood, the Teredolites Ichnofacies is recognized, which is characterized by the development of teredenid bivalves specializing in feeding on wood. The contact surface of the Buchak and Kyiv formations is a firmground with the Glossifungites Ichnofacies developed on its surface and under it, which was already functioning during the accumulation of Kyiv Formation sediments. This ichnofacies was characterized by high water activity and the presence of organisms capable of bioturbating relatively dense substrates. The origin of massifs and blocks of quartzite-like sandstones among the sands of the Buchak Formation of Luhansk Oblast and many other sections of eastern and north-eastern Ukraine is not fully understood, but their hydrothermal genesis is most likely. The obtained data are of great importance for the reconstruction of the depositional environment of the middle Eocene sediments in eastern Ukraine.

© 2023 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.

Іхнофосилії з відкладів бучацької світи (лютецький ярус, еоцен) Луганщини та їхнє палеогеографічне значення

Віталій Дернов[1], Микола Удовиченко[2]

[1] Інститут геологічних наук НАН України (Київ, Україна)
[2] Луганський національний університет імені Тараса Шевченка (Полтава, Україна)

Резюме. Із семи розрізів переважно піщаних мілководно-морських відкладів бучацької світи (лютецький ярус, еоцен) Луганщини визначено одинадцять іхнотаксонів іхнофосилій, що відносяться до категорій фодініхнія, пасціхнія та доміхнія, а саме: *Apectoichnus longissimus* (Kelly et Bromley, 1984), cf. *Conichnus* isp., *Gastrochaenolites* isp., *Gnathichnus* isp., *Macaronichnus segregatis* Clifton et Thompson, 1978, *Ophiomorpha nodosa* Lundgren, 1891, *Palaeophycus* isp., cf. *Rosselia* isp., *Skolithos linearis* (Haldeman, 1840), *Spongeliomorpha* isp. і *Thalassinoides* isp. Сліди біоерозії на поверхні контакту верхньокрейдових мергелів та пісків бучацької світи свідчать про розвиток тут тріпанітової іхнофації в умовах високої активності водного стовпа за майже нульової седиментації. Більша частина розрізу бучацької світи в районі досліджень утворилася в умовах сколітової іхнофації за значної рухомості води, для протистояння якій організми були вимушені будувати системи нірок, часто укріплені футеровкою. Деякі інтервали часу накопичення відкладів бучацької світи вирізнялися також зниженням активності водного стовпа, за якої піски літоралі та, ймовірно, субліторалі колонізувалися продуцентами нірок *Macaronichnus segregatis.* В місцях масового скупчення ксилолітів виділяється теredолітова іхнофація, яка характеризується розвитком молюсків-тереденід, що спеціалізувалися на харчуванні деревиною. Контакт бучацької та київської світ в районі досліджень є фірмграундом з розвинутою на його поверхні та під нею глоссіфунгітової іхнофацією, яка функціонувала вже під час накопичення відкладів київської світи. Для цієї іхнофації були характерними висока енергія водної товщі та присутність організмів, які здатні біотурбувати порівняно щільні субстрати. Походження масивів та брил кварцитоподібних пісковиків серед пісків бучацької світи Луганщини та багатьох інших розрізів Сходу України є остаточно не з'ясованим, однак найбільш вірогідним є їхній гідротермальний генезис. Отримані дані мають велике значення для реконструкцій умов накопичення середньоеоценових відкладів Сходу України.

Ключові слова: Іхнофосилії, еоцен, лютецький ярус, бучацька світа, Луганська область, Україна

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

Вступ

Палеогенові відклади значно поширені на території України і представлені як морськими, так і континентальними фаціями [Stratigraphic…, 1993; Zosimovich & Shevchenko 2015]. Історія їх вивчення нараховує близько двох сторіч, проте деякі проблеми стратиграфії та палеогеографії цих відкладів залишаються невирішеними. Товща так званого «докиївського» палеогену (канівська та бучацька світи) північної окраїни Донецької складчастої споруди (далі — ДСС) вкрай бідна на рештки тварин, особливо молюсків, які є традиційним інструментом для визначення віку кайнозойських морських відкладів. Ця обставина породила тривалу дискусію, предметом якої були вік та умови накопичення зазначених відкладів. Загадковим є також походження брил та масивів кварцитоподібних пісковиків серед пісків бучацької світи, поширених на окраїнах ДСС. Вирішення проблеми генезису цих порід має важливе значення для реконструкції палеогеографічних умов часу накопичення бучацької світи Сходу України.

В останні десятиріччя швидкими темпами розвивається палеоіхнологія — наука про викопні сліди життєдіяльності організмів. Отримані нею дані інтенсивно залучаються в практику седиментологічних, палеоекологічних, тафономічних та біостратиграфічних досліджень. Систематичні палеоіхнологічні дослідження кайнозойських відкладів України, розпочаті на початку другої половини минулого сторіччя О. В. Хижняковим [Khizhnyakov 1954], О. С. Вяловим [Vyalov 1960; Vyalov & Goretsky 1964; Vyalov & Flerov 1952; 1953; 1954 та ін.], Л. С. Білокрисом [Bilokrys 1962; Belokrys 1965; 1968] на даний час майже припинилися, незважаючи на

те, що іхнофосилії часто бувають єдиними палеонтологічними об'єктами у відкладах деяких стратиграфічних підрозділів. До того ж, їх вивчення дозволяє реконструювати умови накопичення відкладів.

Даних щодо іхнофосилій з відкладів бучацької світи північної окраїни Донбасу небагато. Ймовірно, перша згадка щодо них міститься в роботі Н. Д. Борисяка [Borisyak 1867], в якій з так званих «надкрейдових» пісків поблизу населеного пункту Марківка (сучасне селище з однойменною назвою) наводяться «відбитки водоростей», які в іншому місці в цій же роботі [Borisyak 1867: p. 99] цитуються як *Cylindrites tuberculosus* Eichwald, 1865. Цей паратаксон, як показала ревізія, виконана О. С. Вяловим [Vyalov 1964], є синонімом нірок декапод *Ophiomorpha nodosa* Lundgren, 1891. Пізніше [Vyalov 1966], *Cylindrites tuberculosus* було віднесено до іхнороду *Ophiomorpha* і, відтак, нова назва мала наступний вигляд: *Ophiomorpha tuberculosa* (Eichwald, 1865). Оскільки назва *Cylindrites tuberculosus* є маловідомою, то правило пріоритету на неї не поширюється, проте виділення нового іхновиду О. С. Вяловим навряд чи було виправданим, що і продемонстрували подальші ревізії (наприклад, [Frey *et al*. 1978]).

М. М. Клюшніков [Klyushnikov 1953] повідомляє про знахідку в глауконітових пісках околиць с. Осинове поблизу смт Новопсков своєрідних кременистих стяжінь, визначених значно раніше Б. К. Ліхарєвим [Likharev 1914] як «водорості *Taonurus*» (=іхнофосилії *Zoophycos*). Така інтерпретація цих утворень є, вочевидь, неправильною, оскільки зоофікоси — це шпрейтові структури, що представлені на поверхнях нашарування дугоподібними лопатями; у вертикальних стінках порід вони мають вигляд тривимірних систем нірок, що нагадують за формою шнек.

Цікавим є повідомлення С. А. Мороза [Moroz 1974] щодо присутності у відкладах так званих ковсузьких верств (канівська або бучацька світи — див. нижче) «копрогенно-гастролітного матеріалу, представленого своєрідними відполірованими зернами кварцу, що утворюють лінзочки та прошарки» (переклад наш — В.Д., М.У.). У повідомленні С. А. Мороза, вірогідно, малися на увазі так звані гастроліти або шлункові камені — уламки гірської породи, які заковтують хребетні тварини, такі як крокодили, птахи та деякі ссавці з метою полегшення травлення, втамування мінерального голоду, підтримки нормальної мікрофлори кишечника, очистки шлунку тощо [Ochev *et al.* 2004; Wings 2007; 2012]. Зауважимо, що відрізнити гастроліт, знайдений поза скелетом тварини від гальки дуже складно. Для цього потрібні детальні дослідження, інколи навіть із залученням електронної мікроскопії та лазерів [Manley 1991; Schmeisser & Flood 2008]. Тому повідомлення С. А. Мороза не можна вважати достовірним.

С. А. Мороз та Е. Б. Савронь [Moroz & Savron 1975] побіжно згадують про знахідки нірок *Ophiomorpha nodosa* Lundgren, 1891 у пісках так званих хрестовських верств (бучацька світа) в кар'єрі біля ст. Збірна західніше Луганська. У цій же роботі також повідомляється про часті знахідки мінералізованої деревини з перфораціями молюсків *Teredolites* у пісках та пісковиках, що нині відносяться до бучацької світи [Moroz & Savron 1975]. На табл. 3 (фіг. 19) у цитованій вище роботі зображено фрагмент мінералізованої деревини з перфораціями та черепашками *Teredo modica* Deshayes, 1856, хоча останніх на вказаній ілюстрації не помітно.

Характерною особливістю пісків та пісковиків бучацької світи південного схилу Воронезької антеклізи є присутність мінералізованої деревини. Вона, на жаль, майже не вивчена. Н. Д. Борисяк [Borisyak 1867] цитує її під назвою «*Pinites Ucrainicus* Goeppert». М. Крендовський [Krendovsky 1880] зі «світлих пісків третинної формації» слободи Старобільськ (сучасне місто з однойменною назвою) та с. Розсошь (сучасне с. Россошь Воронезької області РФ) описав два її види — *Pinites pachtanus* Merklin, 1855 та *P. silesiacus* Goeppert, 1850. Значно пізніше викопну деревину з Ікового та Осинового визначали, без достатніх на це підстав, як *Cedroxylon* і *Cupressinoxylon* [Krasnov 1911; Moroz & Savron 1975].

Викопна деревина з околиць Новопскову користується попитом серед колекціонерів. Саме завдяки їхній діяльності стало відомо, що ці ксилоліти вміщують перфорації, вироблені

комахами. Наразі необхідна палеонтологічна ревізія мінералізованої деревини[1] з бучацької світи окраїн ДСС з метою поліпшення регіональної стратиграфії та палеогеографії, а також для деталізації систематики і уточнення анатомії викопних рослин, бо, як відомо, заміщена опалом деревина, з-поміж інших силіцизованих ксилолітів, найкраще передає структурні особливості тканин [Buurman 1972].

В одній із робіт другого автора цієї статті [Udovychenko 2009] повідомляється про знахідку в пісках розрізу Ікове поблизу Новопскова фрагментів шкаралупи пташиних яєць. Зауважимо, що розріз Ікове є одним з небагатьох місцезнаходжень скелетних решток еоценових птахів у Східній Європі [Zvonok *et al.* 2012; Mayr & Zvonok 2011; Mayr *et al.* 2013]. У роботі [Zvonok *et al.* 2012: Рис. 3] з цього розрізу зображено невизначені сліди біоерозії на кістці черепахи, що мають певну схожість зі слідами на панцирах ранньокрейових черепах з Ферганської депресії (Киргизстан), описані О. С.Вяловим та Л. О. Несовим (Vyalov & Nessov 1974) під назвою *Sulculites bellus* Vyalov et Nessov, 1974. Цими свідченнями вичерпуються дані щодо палеогенових іхнофосилій Луганщини.

Метою цієї роботи є дослідження іхнофосилій з відкладів бучацької світи Луганської області та визначення їхнього палеогеографічного потенціалу.

Матеріал та методика

В основу цієї роботи покладено результати вивчення іхнофосилій із семи розрізів відкладів бучацької світи північної окраїни ДСС (Луганська область). Польові дослідження виконувалися переважно другим автором протягом останніх тридцяти років. В 2012–2014 рр. ці розрізи було обстежено авторами спільно.

Нами застосовувалась традиційна методика палеоіхнологічних досліджень, що детально описана в роботі [Mikuláš & Dronov 2006]. У багатьох випадках нам не вдалося відібрати зразки іхнофосилій, бо вони зазвичай є частиною сипучих пісків. У такому разі автори виконували фотофіксацію слідів життєдіяльності та робили польовий опис іхнофосилій *in situ*. Зауважимо, що така обставина є типовою в практиці палеоіхнологічних та седиментологічних досліджень. Деякі зібрані іхнофосилії зберігаються в Геологічному музеї Луганського національного університету імені Тараса Шевченка (Полтава) та особистих колекціях авторів.

У статті використовуються деякі специфічні терміни (наприклад, вудграунд, лог-граунд тощо), які є транслітерацією англомовних понять. Оскільки в українській мові для них немає відповідників, ми пропонуємо використовувати їх за аналогією з іншою транслітерованою англомовною геологічною термінологією (наприклад, мікрофації карбонатних порід, виділені Джеймсом Вілсоном [Wilson 1980]). Визначення цих понять представлено в тексті статті.

При описі іхнофосилій нами не наводиться їхня синоніміка. Більшість досліджених слідів життєдіяльності є дуже старими паратаксонами, що описані в багатьох роботах і складання списків синонімічних назв було б занадто складним завданням. Крім того, суттєвих протиріч у розумінні обсягів описаних іхнотаксонів у фахівців немає (за деякими невеликі виключеннями), тож це додатково обґрунтовує недоцільність складання громіздких переліків синонімічних назв.

Стратиграфія

Відклади бучацького регіоярусу (Рис. 1 *а*), якому відповідає бучацька світа [Zosimovich & Shevchenko 2015], значно поширені на окраїнах ДСС, особливо в басейнах рік Красна, Айдар, Євсуг, Деркул та Глибока [Kaptarenko-Chernousova & Lutskiy 1963]. Тут ці відклади зазвичай

[1] У цій статті ми використовуємо поняття «заміщення деревини мінералом» і «мінералізація», хоча як було показано Буурманом [Buurman 1972], заміщення (Replacement) та мінералізація (Permineralization) — це два різні процеси, що ведуть до перетворення деревини в ксилоліт. Різниця між ними полягає в тому, що в результаті мінералізації в ксилоліті залишаються рештки первинної органічної речовини.

залягають на утвореннях канівського регіоярусу або на розмитій поверхні верхньокрейдових мергелів [Kaptarenko-Chernousova & Lutskiy 1963]. Базальний галечник бучацької світи часто містить фосфатизовані рештки верхньокрейдової та палеоценової фауни [Lutskiy 1963; Dernov & Udovychenko 2016]. Перекривається бучацька світа відкладами київської та сергіївської світ [Zosimovich & Shevchenko 2015].

Бучацька світа складена переважно світлими (сірими, жовтими та жовтувато-сірими) дрібно- та середньозернистими кварцовими та глауконітово-кварцовими, горизонтально- та косошаруватими пісками з прошарками зелених глин та алевритів, а також лінзами гравію та брилами кварцитоподібних пісковиків. У пісках і пісковиках інколи трапляються фрагменти петрифікованої деревини, відбитки листової флори та ядра черепашок молюсків (район сс. Осинове, Киселівка та Луб'янка) [Klyushnikov 1953; Kaptarenko-Chernousova & Lutskiy 1963; Blank & Zelinskaya 1979; Zelinskaya 1983; Zosimovich & Shevchenko 2015]. Товщина бучацької світи коливається від декількох метрів до 30 м, а інколи (сс. Кружилівка та Осинове) досягає 45–50 м [Kaptarenko-Chernousova & Lutskiy 1963; Zosimovich & Shevchenko 2015]. З наближенням до масивів кам'яновугільних порід, наприклад в районі ст. Родакове поблизу Луганська, описані піски з короваями зливних пісковиків заміщуються різнозернистими кварцовими каолінізованими пісками, товщиною 6–8 м [Kaptarenko-Chernousova & Lutskiy 1963; Lutskiy 1963].

Лютецький вік відкладів бучацької світи північних окраїн ДСС підтверджується присутністю в них лютецького комплексу молюсків [Makarenko & Zelinskaya 1982; Zelinskaya 1983; Zubkovich 1985] та хрящових риб [Udovychenko 2009, 2016, 2022]. У Стратиграфічній схемі палеогенових відкладів 1993 р. [Stratigraphic…, 1993] поділ «докиївських» відкладів на верстви здійснено згідно з поглядами на літостратиграфію палеогенових відкладів окраїн Донбасу С. А. Мороза, представлених у монографії [Moroz & Savron 1975]. Про її недоліки неодноразово повідомлялось у низці публікацій [Udovychenko 2009, 2016, 2019, 2021, 2022]. За результатами вивчення комплексів акулових риб та кореляції розрізів «докиївських» відкладів території досліджень другий автор [Udovychenko 2016, 2021] дійшов висновку, що бучацькій світі відповідають збірнайські (сборнайські), хрестовські, білоріченські і новопсковські верстви Стратиграфічної схеми палеогенових відкладів 1993 р. [Stratigraphic…, 1993]. Що ж до ковсузьких верств, то, на нашу думку, їх слід відносити до канівської світи, як вважав М. М. Клюшніков [Klyushnikov 1953], а не до бучацької, як пропонується в роботі [Zosimovich & Shevchenko 2015].

В середньому еоцені порівняно мілководні морські басейни в межах України займали Дніпровсько-Донецьку западину, південний схил Воронезької антеклізи, Причорноморську западину, Кримську та Карпатську складчасту області; в локальних депресіях Українського щита в лютецький вік накопичувалися континентальні відклади (див. рис. 1 *b*–*c*). На території сучасного Сходу України мілководне море вкривало північні окраїни ДСС, в той час як безпосередньо ДСС була областю денудації (див. рис. 1 *c*).

Вивчені розрізи

У процесі польових досліджень вивчено сім розрізів відкладів бучацької світи (рис. 2), розташованих на північній окраїні ДСС Північноукраїнської палеоседиментаційної провінції [Zosimovich & Shevchenko 2015: Figs 1, 3]. Нижче представлено коротку характеристику вивчених розрізів.

(1) Ікове: Луганська область, Старобільський район, піщаний кар'єр в 1 км західніше с. Ікове (49°31'46.1»N 39°04'11.5»E). Розріз Ікове детально описаний в роботах одного із авторів [Udovychenko 2009, 2016, 2019]. Вік піщаної товщі цього розрізу за результатами вивчення хрящових риб [Udovychenko 2009, 2016, 2019] визначено як ранньолютецький (середній еоцен); лютецьким віком датується так звана «осинівська малакофауна» (див. нижче) з пісковиків розташованого трохи північніше розрізу Осинове [Blank & Zelinskaya 1979; Makarenko & Zelinskaya 1982; Zelinskaya 1983].

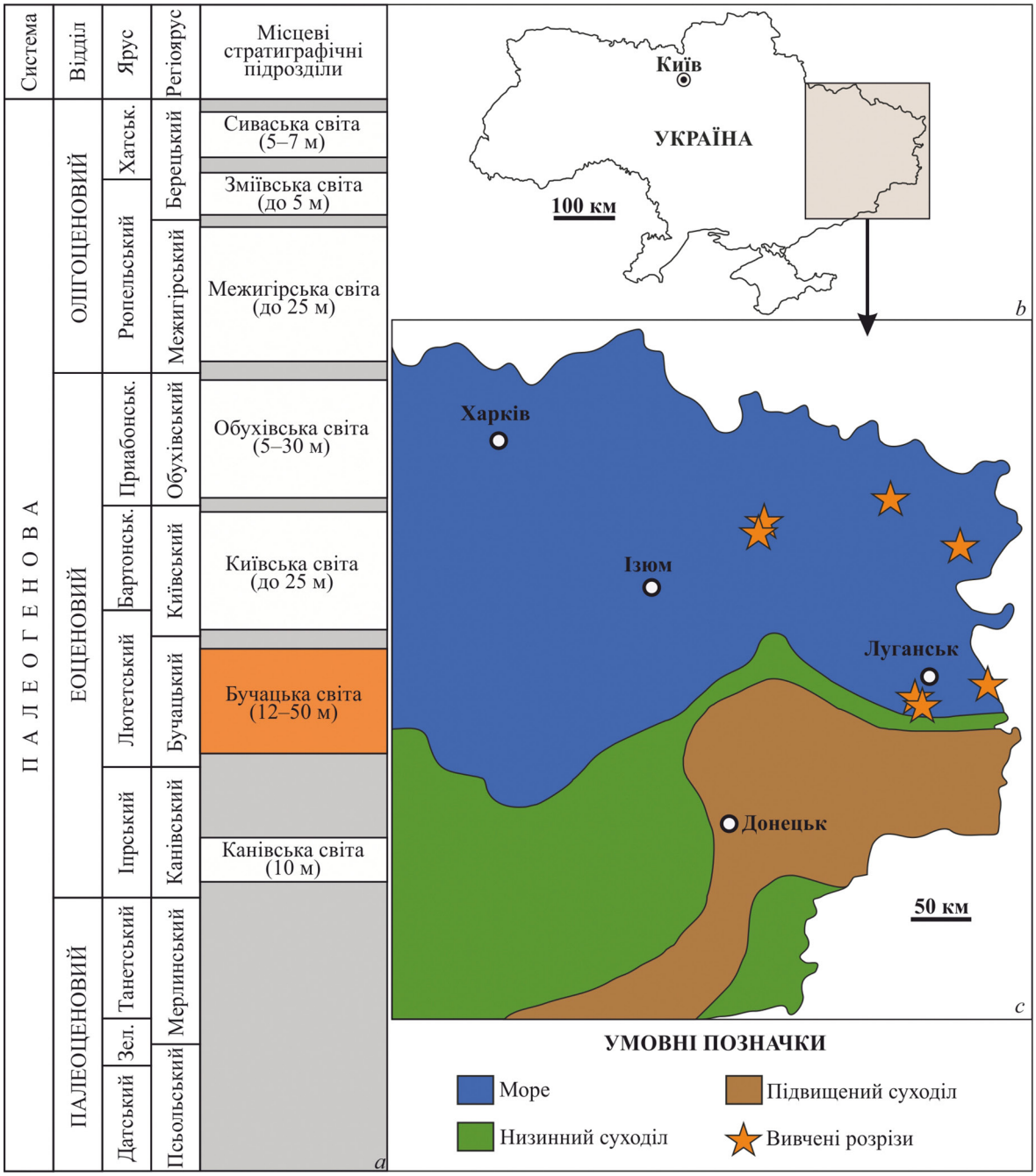


Рис. 1. Стратиграфія та палеогеографія палеогену Сходу України: (*a*) стратиграфічна схема палеогенових відкладів північної окраїни ДСС та стратиграфічне положення бучацької світи (виділена помаранчевим кольором) (складено за даними роботи [Zosimovich & Shevchenko 2015: Tables 1, 2]); (*b, c*) палеогеографічна карта Сходу України в середньому еоцені (за даними [Syabryai et al. in Syabryai 1963: Fig. 68] зі змінами). Скорочення: Зел. — зеландський, Бартонськ. — бартонський, Приабонськ. — приабонський, Хатськ. — хатський.

Fig. 1. Paleogene stratigraphy and palaeogeography of eastern Ukraine: (*a*) Paleogene stratigraphy of the northern periphery of the Donets Folded Structure and stratigraphic position of the Buchak Formation (marked by orange) (after [Zosimovich & Shevchenko 2015: Tables 1, 2]); (*b, c*) palaeogeographic map of eastern Ukraine in the Middle Eocene (after [Syabryai et al. in Syabryai 1963: Fig. 68] with changes). Abbreviations: Зел.— Selandian, Бартонськ.—Bartonian, Приабонськ.—Priabonian, Хатськ. — Chattian.

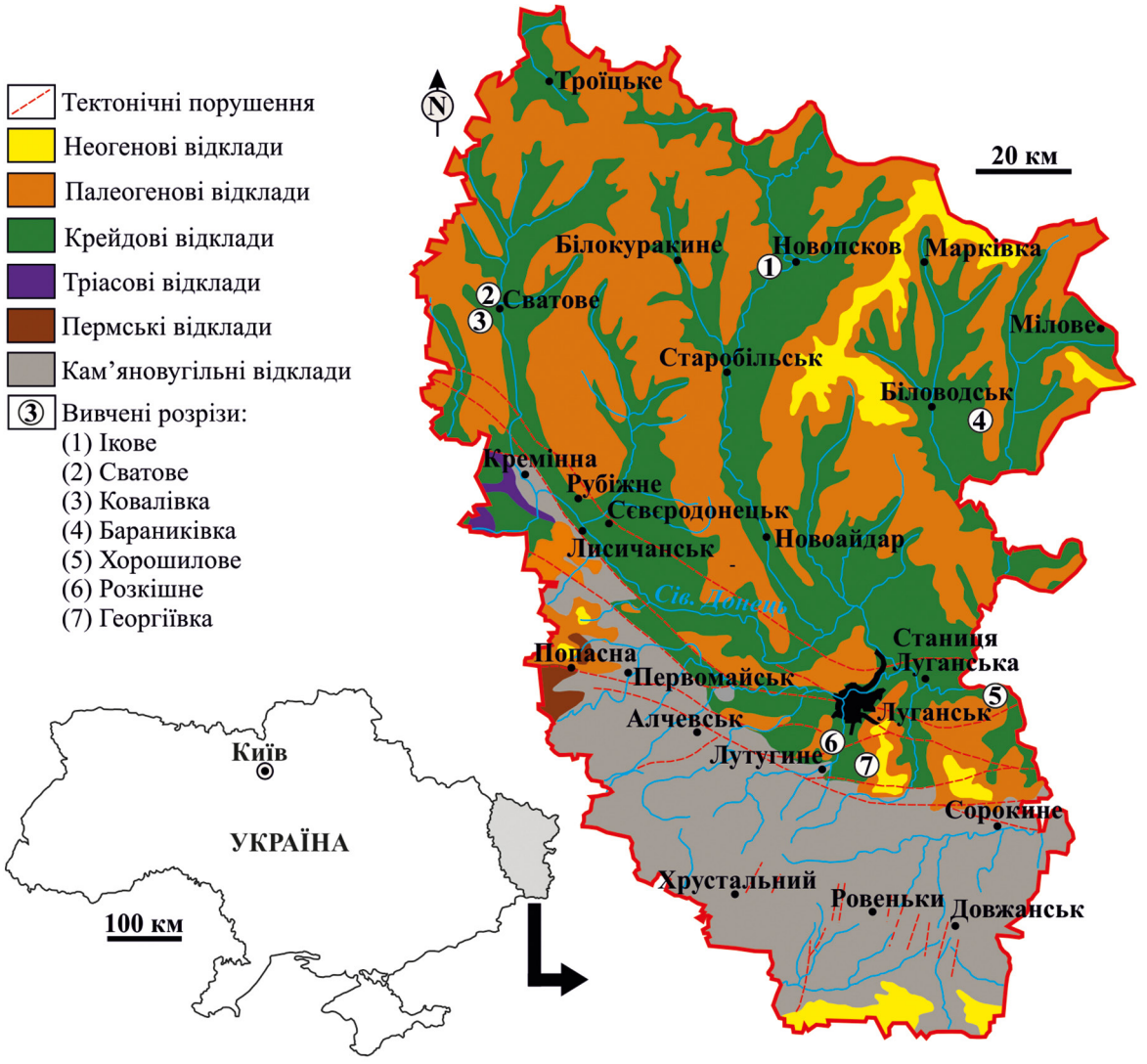


Рис. 2. Географічне розташування вивчених розрізів бучацької світи. Геологічну карту взято з роботи [Luhansk Oblast 2004].

Fig. 2. Geographic location of the studied sections of the Buchak Formation (modified from [Luhansk Oblast 2004]).

Бучацька світа в розрізі Ікове представлена товщею світлих кварцових горизонтально- та косошаруватих, переважно дрібнозернистих пісків (рис. 3 *d*, рис. 4 *a*) з гравійними та галечниковими лінзами; в найвищій частині товщі з'являються прошарки кременистих пісковиків. Ці піски трансгресивно залягають на верхньокрейдових білих мергелях. Товщина піщаної товщі складає близько 13,5 м. У 200-х м західніше розрізу Ікове, в невеликому кар'єрі верхня частина описаних вище пісків заміщується дуже міцними кварцитоподібними пісковиками (див. рис. 4 *c*), які утворюють масив ізометричної в плані форми, діаметром близько 200 м. Ці пісковики вміщують фрагменти деревини, мінералізованої опалом та халцедоном [Kosmachev 1977, 1981] (див. рис. 4 *e*). Пагорби, складені кварцитоподібними пісковиками згадуються багатьма дослідниками, які проводили дослідження в районі Осинового (наприклад, [Palibin 1908; Zubkovich 1985] тощо).

У пісках та пісковиках розрізу Ікове нами знайдено нірки десятиногих ракоподібних *Ophiomorpha nodosa* Lundgren, 1891, а також сліди існування всередині осаду *Palaeophycus* isp.

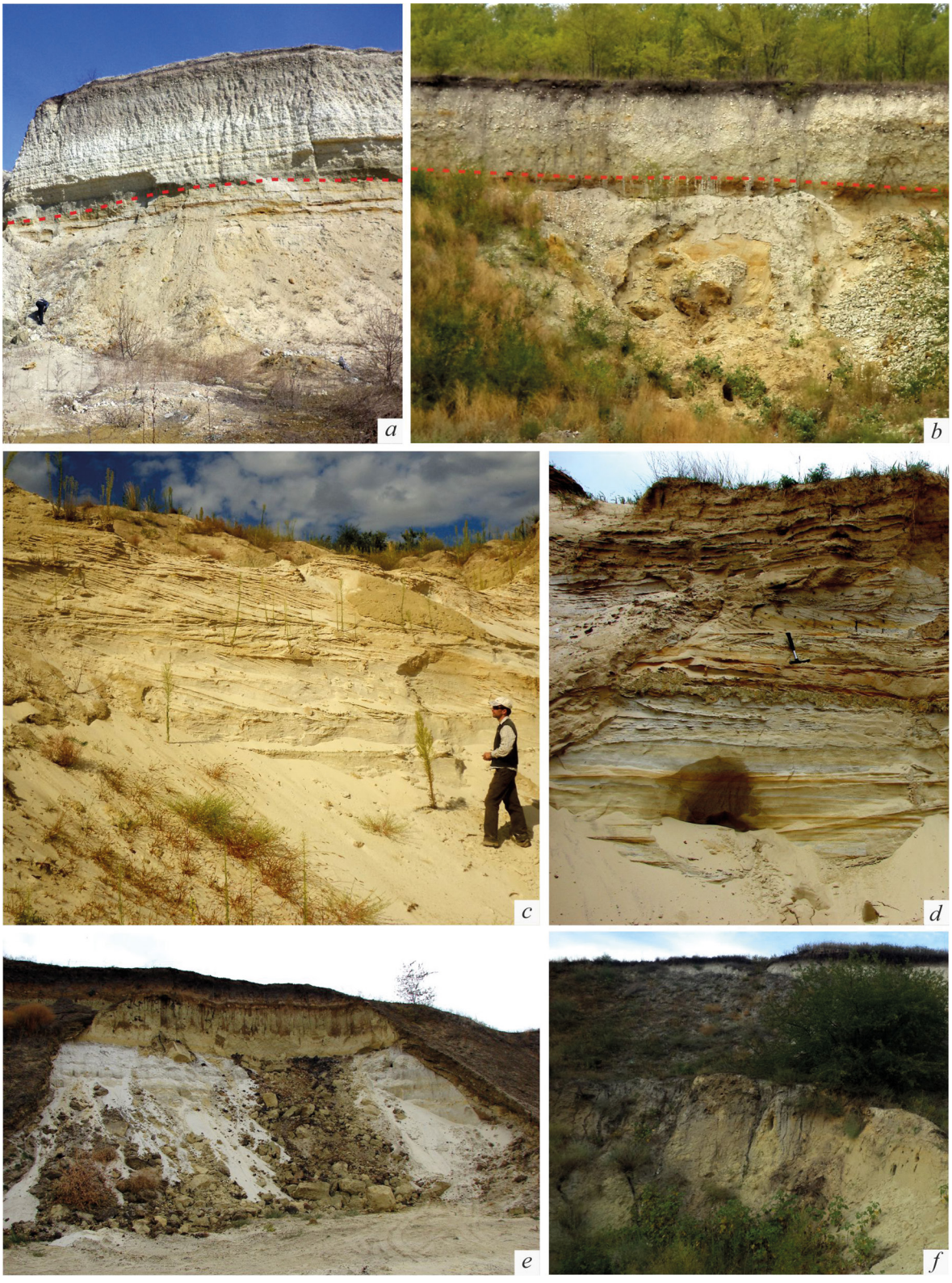


Рис. 3. Загальний вигляд деяких вивчених розрізів: (*a*) Георгіївка; (*b*) Розкішне; (*c*) Хорошилове; (*d*) Ікове; (*e*) Ковалівка; (*f*) Бараниківка. Пунктирною лінією показано межу бучацької та київської світ.

Fig. 3. General view of some studied sections: (*a*) Heorhiyivka; (*b*) Rozkishne; (*c*) Khoroshylove; (*d*) Ikove; (*e*) Kovalivka; (*f*) Baranykivka. The dashed line marks the contact between the Buchak and Kyiv formations.

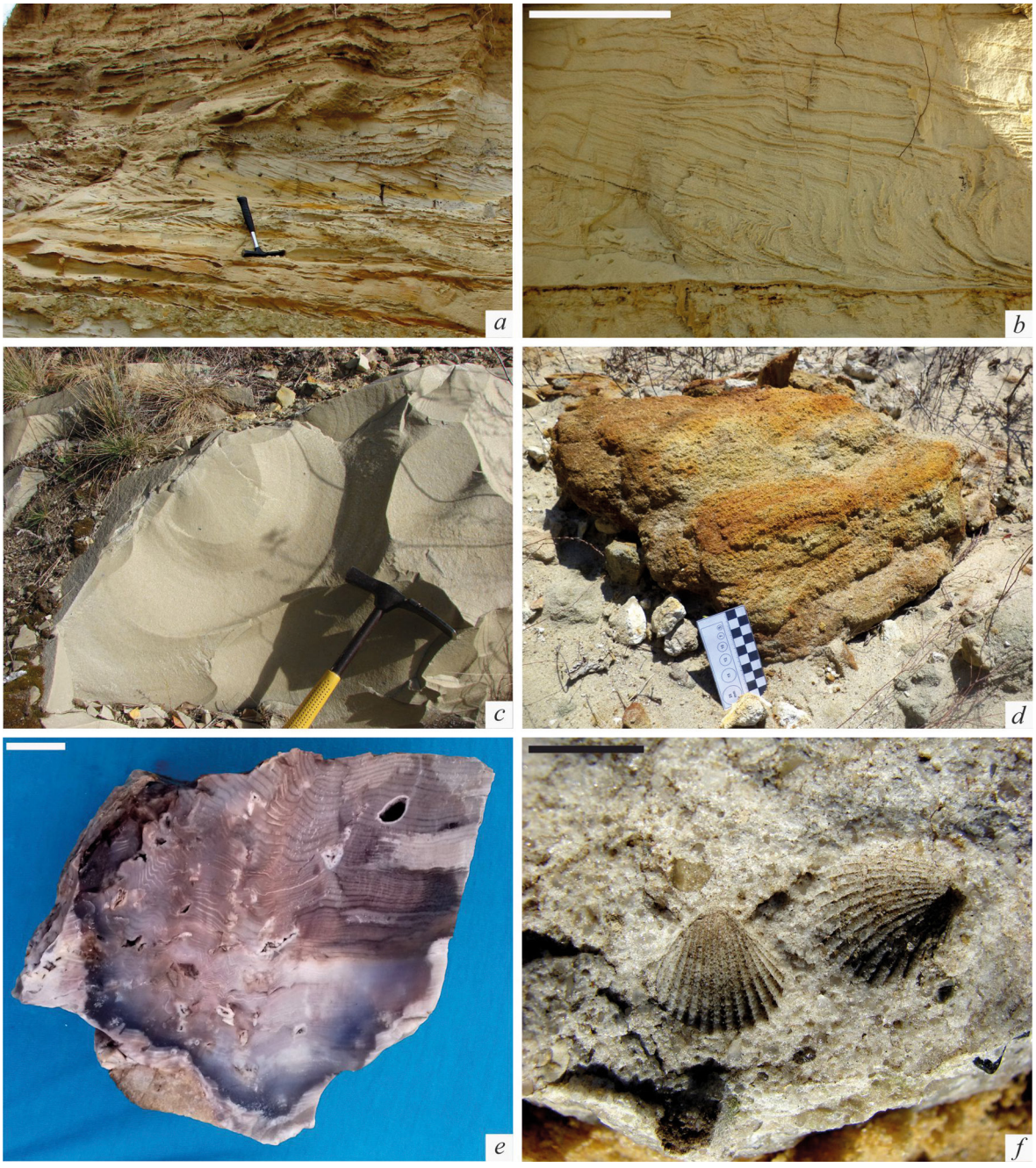


Рис. 4. Деякі літологічні та палеонтологічні особливості відкладів бучацької світи Луганщини: (*a, b*) коса шаруватість пісків (*a*—Ікове, *b*—Хорошилове); (*c*) кварцитоподібні пісковики, що латерально заміщують піски (Ікове); (*d*) конкреція глауконітового пісковику з пісків (Георгіївка); (*e*) мінералізована деревина (Ікове); (*f*) відбитки черепашок бівальвій (Ікове). Масштабні відрізки — 20 мм (рис. *e, f*) та 500 мм (рис. *b*).

Fig. 4. Some lithological and palaeontological features of the Buchak Formation in Luhansk Oblast: (*a, b*) crosbedded sands (*a*—Ikove, *b*—Khoroshylove); (*c*) quartzite-like sandstone laterally replaced by sands (Ikove); (*d*) concretion of glauconite sandstone in the sands (Heorhiyivka); (*e*) mineralized wood (Ikove); (*f*) bivalve shell impressions (Ikove). Scale bars—20 mm (*e, f*) and 500 mm (*b*).

і нірки харчування *Macaronichnus segregatis* Clifton et Thompson, 1978. У кременевій гальці базальної частини піщаної товщі часто трапляються перфорації двостулкових молюсків *Gastrochaenolites* isp.; у деяких цих отворах знайдено рештки черепашок пелеципод, які є продуцентами зазначених іхнофосилій. Заміщена опалом деревина з кварцитоподібних пісковиків та пісків часто несе перфорації двостулкових молюсків *Apectoichnus longissimus* (Kelly et Bromley, 1984). У цих же пісковиках знайдено невеликі еліпсоїдальні тіла зі спіральним візерунком на поперечному зламі (рис. 5), що дуже нагадує спіральну структуру копролітів риб, переважно хрящових.

Розріз Ікове є одним з ключових для датування та розчленування піщаної товщі так званого «докиївського» палеогену південного схилу Воронезького кристалічного масиву. Піщані відклади бучацької світи району сс. Ікове та Осинове відомі в спільноті фахівців завдяки присутності в них решток молюсків (див. рис. 4 *f*) — так званої «осинівської малакофауни» [Sokolov 1903; Grygorovich-Berezovsky 1937; Muromcev 1951; Klyushnikov 1960; Makarenko & Zelinskaya 1982 та ін.]. Вона має велике стратиграфічне значення, оскільки морські відклади бучацької світи окраїн ДСС охарактеризовано макрофауною недостатньо. Відслонення міцних кварцитоподібних пісковиків з галькою, які інколи латерально заміщують верхню частину світлих пісків бучацької світи поблизу с. Осинове мають статус палеонтологічної пам'ятки природи місцевого значення [Arapov *et al*. 2013]. На жаль, охоронний знак встановлено не в тому місці, звідки походить «осинівська малакофауна».

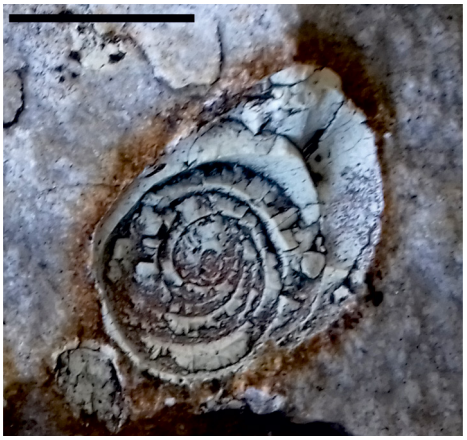


Рис. 5. Поперечний злам копроліту(?) хрящової риби (Ікове) з пісковиків бучацької світи розрізу Ікове. Масштабний відрізок — 20 мм.

Fig. 5. Broken shark coprolite(?) from sandstones of the Buchak Formation (Ikove section). Scale bar—20 mm.

У роботі А. М. Краснова [Krasnov 1911] з міцних кварцитоподібних пісковиків району с. Осинове описано листову флору, місцезнаходження якої було вперше детально вивчено ще у другій половині XIX ст. професором Харківського університету Н. Д. Борисяком [Borisyak 1867; Palibin 1901]. Ще раніше з пісковиків Осинового рештки рослини *Daphnogene excellens* Eichwald, 1865 (=*Macclintockia basinervis* (Rossmässler, 1840) Knobloch, 1963) зобразив Е. І. Ейхвальд [Eichwald, 1865–1868: pl. 3, fig. 17], а згадку про *Daphnogene coriacea* Saporta, 1862 розмістив у своїй роботі Н. Д. Борисяк [Borisyak 1867]. Судячи із загальної морфології решток, вид *Daphnogene excellens* є синонімом *Cocculus kanei* Heer, 1882 [Stanislavskiy 1956; Bozukov & Ivanov 2022] решткі якого з Осинового зобразив А. М. Краснов [Krasnov 1911: p. 73].

Вік цієї флори А. М. Краснов визначав то як палеоценовий [Krasnov 1911], то як еоценовий [Likharev 1914]. І. В. Палібін [Palibin 1908], опираючись на визначення систематичної належності та стратиграфічного поширення представників «осинівської малакофауни», виконані А. Д. Архангельським, вперше довів еоценовий вік викопної флори з осинівських пісковиків. Як було зазначено вище, анатомічну будову мінералізованої деревини з околиць Осинового вивчив М. Крендовський [Krendovsky 1880]. Результати вивчення опалу, з якого складається переважна частина ксилолітів з Осинового, представлені в невеликій роботі В. Г. Космачова [Kosmachev 1981].

Піски місцезнаходження Ікове вміщують численні та різноманітні рештки хребетних, серед яких присутні кісткові [Bratishko 2011; Zvonok *et al*. 2012] та хрящові риби [Udovychenko 2009; Zvonok *et al*. 2012], крокодили [Zvonok *et al*. 2012; Kuzmin & Zvonok 2021], черепахи [Zvonok *et al*. 2012; Danilov *et al*. 2011] і птахи [Zvonok *et al*. 2012; Mayr & Zvonok 2011; Mayr *et al*. 2013]. Наразі Ікове є найбагатшим місцезнаходженням палеогенових вищих хребетних у Східній

Європі [Kuzmin & Zvonok 2021]. На жаль, воно не має статусу палеонтологічної пам'ятки природи і, відтак, перебуває під загрозою знищення як природними процесами, так і внаслідок людської діяльності.

(2) Сватове: Луганська область, Сватівський район, піщаний кар'єр в 0,3 км західніше м. Сватове (49°24'53.0»N 38°07'21.2»E). Тут на розмитій нерівній поверхні верхньокрейдових білих мергелів залягає товща жовтих та помаранчевих пісків бучацької світи. Поверхня мергелів несе досить великі перфорації молюсків *Gastrochaenolites* isp. та нірки декапод *Spongeliomorpha* isp. в яких збереглися від розмиву зелені дрібнозернисті піски, товщиною не більше 0,02–0,05 м (канівська світа — ?). Вище залягає базальний галечник бучацької світи, який складається переважно з фосфатизованих ядер верхньокрейдових та палеоценових пелеципод, гастропод, наутілід *Pseudocenoceras warsanofievie* Shimansky, 1951 [Dernov & Udovychenko 2016], амонітів та уламків рострів белемноідей, кісток морських рептилій та зубів акул. Ще вище залягає пачка сірувато-зелених та жовтих різнозернистих пісків (7 м) з нірками *Ophiomorpha nodosa* Lundgren, 1891, прошарками гравію та рідкісними стяжіннями пісковику. Перекривається ця товща дрібнозернистим карбонатним піском (0,6 м) з фосфоритами та лютецьким комплексом еласмобранхій (*Hexanchus agassizi* Cappetta, *Striatolamia macrota* (Agassiz), *Carcharias* sp., *Otodus (Carcharocles) auriculatus* (Blainville), *Isurolamna* sp., *Macrorhizodus praecursor* (Leriche), *Physogaleus* sp. та *Raja* sp.), а також фрагментами черепашок молюсків, в тому числі бівальвій *Spondylus* та *Chlamys*. Ці піски є базальним шаром київської світи.

Характерною особливістю цього розрізу є присутність на поверхні верхньокрейдових мергелів досить великих перфорацій *Gastrochaenolites* isp., які виникли, однак, в доканівський чи канівський час. Крім того, деякі фосфоритові ядра молюсків з базального шару бучацької світи несуть сліди біоерозії, які поки що не вивчені.

(3) Ковалівка: Луганська область, Сватівський район, невеликий кар'єр біля с. Ковалівка (49°20'54.3»N 38°00'51.3»E). Тут фрагментарно розкрита товща світлих пісків (див. рис. 3 *e*) з іхнофосиліями *Ophiomorpha nodosa* Lundgren, 1891, а також невизначеними біотурбаціями, можливо *Macaronichnus segregatis* Clifton et Thompson, 1978.

(4) Бараниківка: Луганська область, Старобільський район, невеликий кар'єр в 2 км західніше с. Бараниківка (49°08'29.2»N 39°48'19.7»E). У цьому кар'єрі відслонюється товща жовтих, жовтувато-сірих та помаранчевих дрібнозернистих пісків з коржами лімонітизованого пісковику (див. рис. 3 *f*) та нірками *Ophiomorpha nodosa* Lundgren, 1891. Товщина пісків бучацької світи складає близько 7–8 м. Вище них залягають світлі піски київської світи (0,3 м) з фосфоритами, єдиним зубом акули *Hexanchus agassizi* Cappetta та ядрами нірок *Thalassinoides* isp., що складаються з фосфатизованого пісковику. Основна частина цих нірок розташована в пісках бучацької світи, проте їхні устя відкривається на поверхню її контакту із київською світою. В одній із нірок знайдено фрагмент досить великої фосфатизованої ноги невизначеного десятиногого рака. Ще вище залягають брудно-сірі піщанисті мергелі з нірками *Thalassinoides*, рідкісними дрібними фосфоритами та фрагментами черепашок спондилюсів.

На ґрунтовій дорозі, що веде в цей кар'єр із с. Бараниківка, фрагментарно відслонюється базальний галечник палеогену (0,2 м), складений галькою кварцу, піщанистого фосфориту та кременю з домішкою дрібнозернистого зеленувато-сірого глауконітового піску. Трапляються фосфатизовані ядра бівальвій та наутілід. Недалеко від кар'єру, на вершинах невеликих пагорбів розкривається поверхня контакту верхньокрейдових мергелів та відкладів бучацької світи; перша несе перфорації *Gastrochaenolites* isp.

(5) Хорошилове: Луганська область, Сорокинський район, піщаний кар'єр в 0,5 км західніше с. Хорошилове (48°33'53.5»N 39°44'52.4»E). Розріз бучацької світи тут представлено жовтими та жовтувато-сірими дрібнозернистими косошаруватими пісками (див. рис. 3 *c* та рис. 4 *b*) з розсіяною галькою та дрібними конкреціями сірого кременистого пісковику і дуже рідкісними фрагментами мінералізованої деревини. Видима товщина піщаної товщі складає

близько 6 м. Залягає вона з розмивом на білих мергелях верхньої крейди, а перекривається — відкладами київської світи.

У пісках цього розрізу знайдено нірки ракоподібних *Ophiomorpha nodosa* Lundgren, 1891, нірки червів *Macaronichnus segregatis* Clifton et Thompson, 1978 та нірки анемон, пелеципод чи гастропод cf. *Conichnus* isp. Розсіяна галька серед пісків нижньої частини товщі несе сліди біоерозії, в тому числі *Gastrochaenolites* isp.

(6) Розкішне: Луганська область, Луганський район, піщаний кар'єр в 0,8 км на південний захід від окраїни с. Розкішне (48°27'14.8»N 39°15'06.0»E). Тут на розмитій поверхні верхньокампанських мергелів залягає товща світлих дрібнозернистих пісків (див. рис. 3 *b*) з малопотужним (0,1 м) базальним галечником. У нижній частині пісків знайдено лютецький комплекс хрящових риб, який складається зі *Striatolamia macrota* (Agassiz), *S.* sp., *Carcharias* sp., *Jaekelotodus robustus* (Leriche), *Macrorhizodus praecursor* (Leriche) та *Otodus (Carcharocles) auriculatus* (Blainville) [Udovychenko 2016]. Локально в невеликих поглибленнях поверхні верхньокрейдових порід збереглися від розмиву зеленувато-сірі кварцово-глауконітові піски, товщиною не більше 0,1 м [Udovychenko 2019], які умовно віднесено до канівської світи.

У балці Конопляніка, що розташована приблизно в 4 км південніше розрізу Розкішне, відклади бучацької світи розмиті і тут київська світа залягає на відкладах нижнього маастрихту. У базальному галечнику палеогену трапляються перевідкладені зуби акул різного віку: кам'яновугільного, пізньокрейдового, палеоценового, ранньо- та середньоеоценового [Udovychenko 1997]. Слід зауважити, що кременева галька базального галечнику палеогену в балці Конопляніка і в деяких розташованих поблизу розрізах (відслонення біля Яру Шатського неподалік ст. Грушка, ярки біля залізничного тунелю поблизу с. Верхня Оріхівка Луганського району та ін.) несе часті та морфологічно дуже різноманітні сліди біоерозії, що заслуговують спеціального дослідження. Зазначимо, що цей іхноценоз належить, ймовірно, до тріпанітової іхнофації.

Піски розрізу Розкішне вміщують іхнофосилії *Ophiomorpha nodosa* Lundgren, 1891, *Skolithos linearis* (Haldeman, 1840) та cf. *Rosselia* isp.

(7) Георгіївка: Луганська область, Луганський район, піщаний кар'єр в 3 км на схід-північний схід від смт Георгіївка (48°26'26.7»N 39°18'47.4»E). У цьому кар'єрі відслонюються світлі піски бучацької світи, товщиною 12 м, які перекриваються мергелями київської світи (див. рис. 3 *a*). Піщана товща бучацької світи залягає на розмитій поверхні верхньокрейдових мергелів, яка несе сліди біоерозії *Gastrochaenolites* isp. та *Gnathichnus* isp. Характерною особливістю цих пісків є присутність досить великих стяжінь міцного глауконітового пісковику з чіткою концентричною структурою (див. рис. 4 *d*). Походження цих конкрецій поки що не з'ясоване. У пісках бучацької світи знайдено лімонітизовані нірки *Thalassinoides* isp.

Опис деяких іхнофосилій

Іхнорід ***Ophiomorpha*** **Lundgren, 1891**

Типовий іхновид: *Ophiomorpha nodosa* Lundgren, 1891; оригінальне визначення за монотипією.

Діагноз. Прості та складні системи нірок, стінка яких складається з грудочок. Внутрішня поверхня нірок більш-менш гладенька, зовнішня — від однорідної до вузлуватої. Окремі гранули чи грудочки, що складають стінку, можуть мати дископодібну, яйцевидну або неправильну форму. Характеристики вистілки стінки можуть варіювати в одного екземпляру нірки [Frey *et al*. 1978: p. 222; переклад наш — В.Д., М.У.].

Іхновиди. Окрім типового іхновиду до іхнороду *Ophiomorpha* входять також *O. annulata* (Ksiazkiewicz, 1977); *O. beaumarisensis* Ter et Buckeridge, 2012; *O. borneensis* Keij, 1965; *O. irregulaire* Frey et al., 1978; *O. puerilis* de Gibert et al., 2006 та *O. rudis* (Ksiazkiewicz, 1977).

Зауваження. Склад та форма гранул, що складають стінку нірок *Ophiomorpha* (так звана «офіоморфна скульптура» [Vyalov 1966, 1989]), є ключовими діагностичними ознаками, які дозволяють розрізняти окремі іхновиди офіоморф. Багато дослідників звертають увагу на морфологічну подібність нірок ракоподібних *Ophiomorpha* Lundgren, 1891, *Spongeliomorpha* Saporta, 1887 і *Thalassinoides* Ehrenberg, 1944; деякі з них [Fürsich 1973; Schlirf 2000] вважають, що морфологічні відмінності між *Spongeliomorpha, Ophiomorpha* і *Thalassinoides* є незначними і пропонують вважати останні два іхнороди молодшими синонімами першого. На думку цих дослідників, виникнення нірок конкретної морфології, а відтак і паратаксономічної належності, контролюється щільністю субстратів: у м'яких нестабільних донних мулах ракоподібні будують нірки *Ophiomorpha,* у м'яких стабільних — *Thalassinoides,* а в ущільнених — *Spongeliomorpha.* Ці погляди не набули визнання у фахівців, проте Ріндсберг [Rindsberg 2018] запропонував об'єднати ці іхнороди в неформальну групу «SOT» (*Spongeliomorpha* + *Ophiomorpha* + *Thalassinoides*), до якої, на думку цитованого автора, слід віднести різні морфи систем нірок десятиногих ракоподібних.

Ключовими ознаками, що дозволяють відрізняти *Ophiomorpha* від *Spongeliomorpha* та *Thalassinoides* є особливості скульптури зовнішньої стінки нірок: як вже було зазначено, у *Ophiomorpha* вона складається з гранул, стінки нірок *Spongeliomorpha* несуть повздовжні валики та гребені (сліди кінцівок продуцента нірки), а у *Thalassinoides* стінка гладенька.

Поширення. Перм–донині.

Ophiomorpha nodosa Lundgren, 1891

Рис. 6 *a–h* та рис. 7 *d*

Матеріал. Вивчено багато екземплярів нірок *in situ*.

Діагноз. *Ophiornorpha* зі стінками, що складаються переважно з щільно та регулярно розміщених дископодібних, яйцевидних та багатогранних гранул [Frey *et al*. 1978: p. 222; переклад наш — В.Д., М.У.].

Опис. Вертикальні, субвертикальні та горизонтальні циліндричні нірки існування, що складаються з кварцитоподібного пісковику чи піску з дещо більш інтенсивно зцементованою стінкою. Товщина стінок сягає 3–5 мм. Заповнення нірок однорідне; порода всередині нірок за літологічним складом не відрізняється від бічної породи. Поперечний переріз нірок — округлий або, значно рідше, дуже слабко еліптичний у горизонтальних нірок, які були трохи деформовані на стадії постседиментаційного ущільнення осаду. Діаметр нірок коливається від 15 до 30 мм, проте у одного екземпляру діаметр залишається більш-менш постійним протягом всієї довжини нірки. Довжина найповніших фрагментів сягає 400 мм (див. рис. 6 *e*). Стінка складається із субсферичних грудочок, діаметром 1–5 мм. Як зазначалося вище, стінка вирізняється кращою цементацією; інколи вона також відрізняється від бічної породи та осаду всередині нірки кольором (більш інтенсивним сірим забарвленням внаслідок більшого вмісту кремнезему або коричневою через присутність гідроксидів заліза). Фрагменти нірок, зазвичай, прямі і лише інколи слабко вигинаються. Офіоморфи трапляються у вигляді пошарових скупчень, які гарно помітні на старих, але не занадто, стінках кар'єру (див. рис. 6 *a*). Такі скупчення, ймовірно, поширені на ерозійних поверхнях.

Порівняння. *Ophiomorpha nodosa* відрізняється від *O. irregulaire* регулярним розташуванням та округлою формою гранул на зовнішній поверхні нірки (у *O. irregulaire* вони розміщені нерегулярно та мають конусоподібну форму). Описаний іхновид відрізняється від *O. borneensis* будовою стінки — у *O. borneensis* вона складається з гранул двох розмірних фракцій, більші з яких (4–5 мм у діаметрі) утворюють зовнішню частину стінки, а менші, діаметром 2 мм, — внутрішню. *Ophiomorpha nodosa* відрізняється від *O. puerilis* округлою і овальною формою гранул (у *O. puerilis* вони субциліндричні).

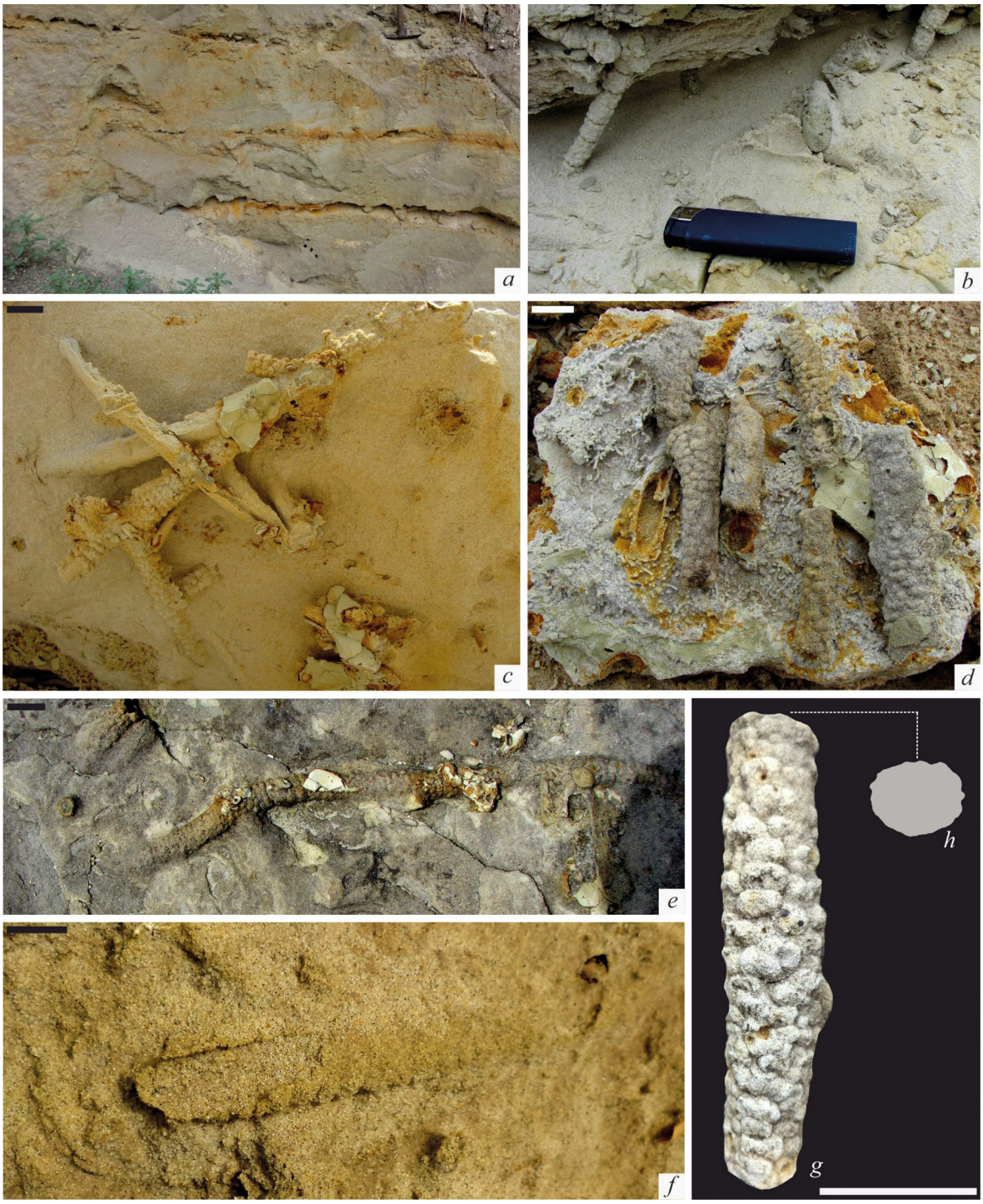


Рис. 6. Іхнофосилії *Ophiomorpha nodosa* Lundgren, 1891 з пісків та пісковиків бучацької світи Луганщини: (*a*) три прошарки з *Ophiomorpha nodosa*, що, вірогідно, маркують короткочасні епізоди уповільнення седиментації (Розкішне); (*b, c, e, f*) *Ophiomorpha nodosa* в породі *in situ* (*b, c, e* — Ікове, *f* — Розкішне); (*d*) кілька фрагментів нірок *Ophiomorpha nodosa* (Ікове); (*g, h*) нірка *Ophiomorpha nodosa* збоку (*g*) та її поперечний переріз (*h*) (Ікове). Масштабні відрізки — 20 мм.

Fig. 6. Trace fossils *Ophiomorpha nodosa* Lundgren, 1891 from sands and sandstones of the Buchak Formation: (*a*) three interlayers with *Ophiomorpha nodosa* marked erosion surfaces (Rozkishne); (*b, c, e, f*) *Ophiomorpha nodosa* in situ (*b, c, e*—Ikove, *f*—Rozkishne); (*d*) several fragments of *Ophiomorpha nodosa* (Ikove); (*g, h*) *Ophiomorpha nodosa* lateral view (*g*) and its cross section (*h*) (Ikove). Scale bars—20 mm.

Зауваження. Іхнорід *Ophiomorpha* є одним з найкраще вивчених іхнотаксонів [Pedrol de Freitas *et al*. 2020]. За виключенням рідкісних знахідок нірок *Ophiomorpha* у порівняно глибоководних морських відкладах [Ksiazkiewicz 1977; Tchoumatchenco & Uchman 2001], цей іхнорід поширений переважно в пост-пермських мілководно-морських породах [Pedrol de Freitas *et al*. 2020]. На підставі значного поширення систем нір та окремих нірок *Ophiomorpha* в цих відкладах, вони розглядаються як індикатори прибережно-морських умов, хоча як вже повідомлялося, вони відомі також у відкладах глибоководних підводних конусів виносу і турбідитах [Tchoumatchenco & Uchman 2001; Wetzel *et al*. 2007; Cummings & Hodgson 2010] та навіть континентальних породах [Merrill 1984]. В палеогенових відкладах офіоморфи часто трапляються у складі нереїтової іхнофації підводних конусів виносу [Uchman 2001]. На цій підставі було запропоновано навіть виділити в межах цієї іхнофації субіхнофацію Ophiomorpha rudis [Uchman 2001].

Вірогідними продуцентами нірок *Ophiomorpha* є десятиногі ракоподібні [Frey *et al*. 1978; Tchoumatchenco & Uchman 2001; Wetzel *et al*. 2007; Cummings & Hodgson 2010; Pedrol de Freitas *et al*. 2020 та ін.]. Наразі, з палеогену північної окраїни Донбасу відома лише одна фаунула декапод, що супроводжується монографічним описом та зображенням фосилій [Likharev 1917; Chernyshev 1949]. Л. І. Лутугін [Lutugin 1897] у базальних пісках київської світи в розрізі біля с. Кримське (сучасний Алчевський район, Луганська область) виявив рештки панцирів крабів, які згодом описав Б. К. Ліхарєв [Likharev 1917] під назвами *Zanthopsis lutugini* Likharev, 1917 (=*Harpactocarcinus lutugini* (Likharev, 1917)) та *Harpactocarcinus* cf. *macrodactylus* Milne-Edwards, 1850. Останню форму Б. І. Чернишов [Chernyshev 1949] за результатами ревізії відніс до виду *Harpactocarcinus punctulatus* (Desmarest, 1822).

У літературі є ще кілька повідомлень про знахідки решток крабів у палеогенових відкладах північної окраїни Донбасу. Наприклад, Б. К. Ліхарєв [Likharev 1914] повідомив про знахідку невизначеного короткохвостого рака в басейні р. Ковсуг; С. А. Мороз та Е. Б. Савронь [Moroz & Savron 1975] навели визначення краба *Zanthopsis leachi* (Desmarest, 1822) з піщаної товщі хрестовських верств.

Місцезнаходження. *Ophiomorpha nodosa* знайдена в пісках та пісковиках бучацької світи розрізів Ікове, Ковалівка, Бараниківка, Хорошилове та Розкішне.

Поширення. Нижня крейда–донині.

Іхнорід ***Skolithos*** **Haldeman, 1840**

Типовий іхновид: ?*Fucoides* (*Skolithos*) *linearis* Haldeman, 1840; оригінальне визначення за монотипією.

Діагноз. Вертикальні чи злегка похилі циліндричні та субциліндричні прямі або трохи зігнуті нірки з футеровкою; не розгалужуються, осад всередині нірки безструктурний; відношення довжини нірки до її діаметру має дуже великі значення[2] [Knaust *et al*. 2018: p. 21; переклад наш — В.Д., М.У.].

Іхновиди. Визначити склад цього іхнороду доволі складно. У результаті досить давньої ревізії [Alpert 1974] до *Skolithos* було віднесено чотири іхновиди: *S. annulatus* (Howell, 1957); *S. ingens* Howell, 1944; *S. magnus* Howell, 1944 та *S. verticalis* (Hall, 1843). Ще близько 20 іхновидів, описаних до 1974 року, було визнано невалідними (*nomina nuda*, молодші синоніми, псевдофосилії тощо).

На сьогодні, іхнорід *Skolithos* безсумнівно є «сміттєвим кошиком» — до нього без достатніх підстав віднесено вертикальні тоненькі нірки та подібні їм біотурбації, які створювали різні класи і типи тварин та навіть рослини [Knaust *et al*. 2018]. На даний час, визначити склад цього іхнороду не можна без ревізії всіх описаних під цією іхнородовою назвою іхнофосилій та близьких за морфологією та способом утворення біотурбацій.

[2] За нашими даними, йдеться про значення в десятках.

Зауваження. *Skolithos* відрізняється від найбільш морфологічно близького іхнороду *Monocraterion* Torell, 1870 відсутністю помітного лійкоподібного розширення устя нірки. Вертикальні нірки *Diplocraterion* (Torell, 1870) та *Arenicolites* Salter, 1857 також схожі на *Skolithos*, проте мають U-подібну форму та можуть мати лійкоподібне розширення устя.

Поширення. Кембрій–донині.

Skolithos linearis (Haldeman, 1840)

Рис. 7 *a, b*

Матеріал. Вивчено багато екземплярів нірок *in situ*.

Діагноз. Нірки циліндричні до субциліндричних, ідеально прямі, вертикальні або злегка похилі, до метра завдовжки. Діаметр нірок коливається в межах 3–7 мм, інколи до 12 мм, проте в одного екземпляру діаметр є незмінним. Стінка може бути слабко вираженою [Alpert 1974: p. 663; Schlirf 2000: p. 152; переклад наш — В.Д., М.У.].

Опис. Дуже тоненькі (діаметр близько 3 мм) пасивні заповнення циліндричних вертикальних прямих нірок існування, складені піском (тому при вивітрюванні вони швидко руйнуються). Часто виділяються на світлому фоні пісків більш темним (помаранчевим або коричневим) забарвленням, обумовленим присутністю гідроксидів заліза на поверхні іхнофосилій. Структура нірок однорідна; порода матриксу та нірки не відрізняються за літологічним складом. Довжина найповніших фрагментів нірок складає не більше 40–45 мм.

Порівняння. Провести порівняння *Skolithos linearis* з іншими іхновидами не можна, оскільки лише для цього іхновиду наразі доведено валідність [Knaust *et al*. 2018].

Зауваження. Характерною особливістю нірок *Skolithos linearis* є їхня масова присутність (у вигляді окремих екземплярів ці сліди не трапляються). Скупчення сколітесів у пісках бучацької світи, вірогідно, відкриваються устями на ерозійні поверхні.

Іхнофосилії *Skolithos linearis* поширені як у континентальних, так і в мілководно-морських та порівняно глибоководних морських відкладах [Knaust *et al*. 2018]. Простота морфології та значне стратиграфічне поширення іхнороду *Skolithos* (кембрій–донині) не дозволяють однозначно визначити його продуцентів. Ними можуть бути поліхети, фороніди, пріапуліди, коралові поліпи, ракоподібні, голотурії, комахи, павуки, дрібні хребетні та навіть наземні рослини [Mikuláš & Dronov 2006; Gregory *et al*. 2006; Knaust *et al*. 2018 та ін.]. Найбільш поширеною та обґрунтованою є думка, згідно якої продуцентами викопних *Skolithos* були поліхети та фороніди [Mikuláš & Dronov 2006; Knaust *et al*. 2018]. З італійського узбережжя Середземного моря нещодавно були описані угруповання сабеллід (поліхети), які можуть виявитися сучасним аналогом асоціацій організмів-продуцентів нірок *Skolithos* [Baukon *et al*. 2023]. Проте, на відміну від викопних слідів *Skolithos*, угруповання згаданих вище сабеллід поширені на порівняно глибоководних ділянках шельфу (56–85 м), які не зазнають валиву вітрових хвиль.

Місцезнаходження. Нірки *Skolithos linearis* знайдені лише в пісках розрізу Розкішне, де вони, однак, є дуже рідкісними.

Поширення. Кембрій–донині.

Іхнорід *Apectoichnus* Donovan, 2018

Типовий іхновид: *Teredolites longissimus* Kelly et Bromley, 1984; оригінальне визначення за монотипією.

Діагноз. Видовжені, прямі чи слабко звивисті, зазвичай округлі в поперечному перерізі тунелі в деревині; стінки тунелів гладенькі, можуть мати кальцитову вистілку поверхні. Тунелі орієнтовані переважно паралельно волокнам деревини. Діаметр тунелю зазвичай є незмінним. Трапляються поодинці та групами [Donovan 2017: p. 96; emend. in Melnyk *et al*. 2020: p. 2; переклад наш — В.Д., М.У.].

Іхновиди. *A. lignummasticans* Melnyk et al., 2020; *A. longissimus* (Kelly et Bromley, 1984).

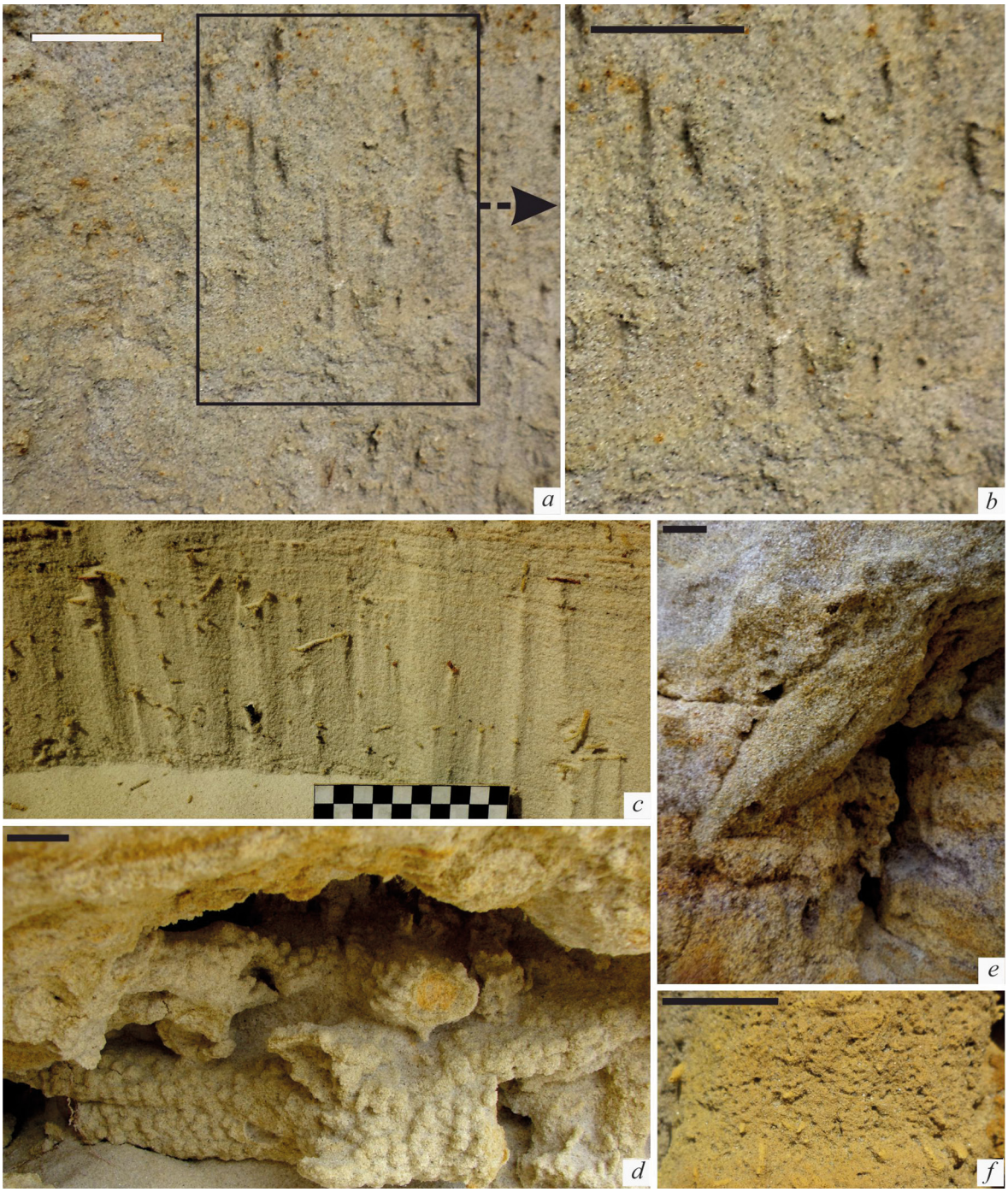


Рис. 7. Іхнофосилії з вікладів бучацької світи Луганщини: (*a, b*) нірки *Skolithos linearis* (Haldeman, 1840) у вертикальній стінці кар'єру (Розкішне); (*c*) нірки *Macaronichnus segregatis* Clifton et Thompson, 1978 у вивітрілій стінці кар'єру (Хорошилове); (*d*) нірки *Ophiomorpha nodosa* Lundgren, 1891 *in situ* (Ковалівка); (*e*) нірка cf. *Rosselia* isp. у стінці кар'єру (Розкішне); (*f*) нірки *Macaronichnus segregatis* на поверхні конкреції глауконітового пісковику (Георгіївка). Масштабні відрізки — 20 мм.

Fig. 7. Trace fossils from the Buchak Formation of Luhansk Oblast: (*a, b*) burrows *Skolithos linearis* (Haldeman, 1840) in the vertical wall of the quarry (Rozkishne); (*c*) burrows *Macaronichnus segregatis* Clifton et Thompson, 1978 in the vertical wall of the quarry (Khoroshylove); (*d*) burrows *Ophiomorpha nodosa* Lundgren, 1891 *in situ* (Kovalivka); (*e*) burrow cf. *Rosselia* isp. in the quarry wall (Rozkishne); (*f*) burrows *Macaronichnus segregatis* on the surface of the sandstone concretion (Heorhiyivka). Scale bars—20 mm.

Зауваження. Іхнорід *Apectoichnus* виокремлений зі складу старого і гарно вивченого іхнороду *Teredolites* Leymerie, 1842. Представники іхнороду *Apectoichnus* відрізняються від єдиного представника іхнороду *Teredolites* (*T. clavatus* Leymerie, 1842) видовженою та прямою формою тунелів (у *Teredolites* канали короткі, булавовидні). Для перфорацій *Teredolites clavatus* Leymerie, 1842 характерними ознаками є переважно перпендикулярна орієнтація відносно волокон деревини, відсутність кальцитової трубки, що вистилає перфорації зсередини (див. нижче) та менш, ніж п'ятикратне перевищення довжини перфорацій над їхнім діаметром.

Поширення. Юра–донині.

Apectoichnus longissimus (Kelly et Bromley, 1984)

Рис. 8 *a, b*

Матеріал. Кілька фрагментів мінералізованої деревини з перфораціями *Apectoichnus*.

Діагноз. Видовжені, прямі чи слабко звивисті, зазвичай округлі в поперечному перерізі тунелі в деревині; стінки тунелів гладенькі, можуть мати кальцитовий шар на поверхні. Тунелі орієнтовані переважно паралельно волокнам деревини. Діаметр перфорацій окремого тунелю зазвичай є незмінним і перевищує 2 мм. Трапляються поодинці та групами [Donovan 2017: p. 96; emend. Melnyk *et al.* 2020: p. 2; переклад наш — В.Д., М.У.].

Опис. Халцедонові та пісковикові ядра майже циліндричних видовжених перфорацій у деревині (плавнику та затоплених фрагментах стовбурів і великих гілок). Тунелі орієнтовані переважно паралельно волокнам деревини. Поперечний переріз ядер перфорацій (їхній діаметр складає 3–5 мм) округлий; вони, зазвичай прямі або дуже слабко вигинаються; сліпий кінець ядра ходу слабко заокруглений; поверхня ядер нірок гладенька. Довжина найповніших перфорацій складає близько 20–25 мм. Тунелі не розгалужуються. Перфорації трапляються дуже великими групами та інколи утворюють грона ядер ходів, які оголилися внаслідок руйнування мінералізованої деревини навколо них. Слідів кальцитової трубки всередині перфорацій не виявлено (див. нижче), проте, вірогідно, зовнішня поверхня ядер каналів у вивченій мінералізованій деревині є нічим іншим, як заміщеними халцедоном кальцитовими трубками. Довжина тунелю перевищує його діаметр більш ніж вп'ятеро.

Порівняння. *Apectoichnus longissimus* відрізняється від *A. lignummasticans* більшим діаметром тунелів (у *A. lignummasticans* вони менше 2 мм) та меншим значенням відношення довжини тунелю до його діаметру (у *A. lignummasticans* діаметр тунелю принаймні в 10 разів менший за його довжину).

Зауваження. Екологічна група молюсків-деревоточців, які, як вважається є продуцентами перфорацій у деревині *Apectoichnus* і *Teredolites*, включає дві родини: Pholadidae і Teredinidae [Savrda & Smith 1996; Pickerill *et al.* 2003]. Більшість теredінід, на відміну від фоладід, вистилають камери, вироблені в деревині, кальцитовими трубками [Pickerill *et al.* 2003]. Ці трубки гарантують молюску безпеку у випадку руйнування деревного субстрату і додатково захищають його тіло вцілому [Pickerill *et al.* 2003].

Є припущення, що фоладіди є переважно продуцентами слідів *Teredolites clavatus* Leymerie, 1842 [Savrda & Smith 1996]. Ця точка зору обґрунтовується наступними особливостями екології цих бівальвій: (1) фоладіди є переважно фільтраторами, які нездатні перетравлювати целюлозу; (2) головною метою перфорування деревини фоладідами є створення укриття, в якому можна існувати; (3) камери в деревині, вироблені сучасними фоладідами порівняно короткі та перпендикулярно орієнтовані відносно поверхні субстрату, тобто морфологічно дуже близькі до *Teredolites clavatus* [Savrda & Smith 1996].

Еванс [Evans 1999] вважає, що продуцентами *Teredolites clavatus* є молюски-свердлильники підродини Martesiinae Grant et Gale, 1931 (Pholadidae), із сучасних представників якої лише два роди виробляють тунелі у деревині: *Martesia* (поширений в морях тропічних та помірних широт) та *Lignopholas* (ареал обмежений тропічними солонуватими водами Південної і Центральної Америки та Індонезії) [Kříž & Mikulaš 2006].

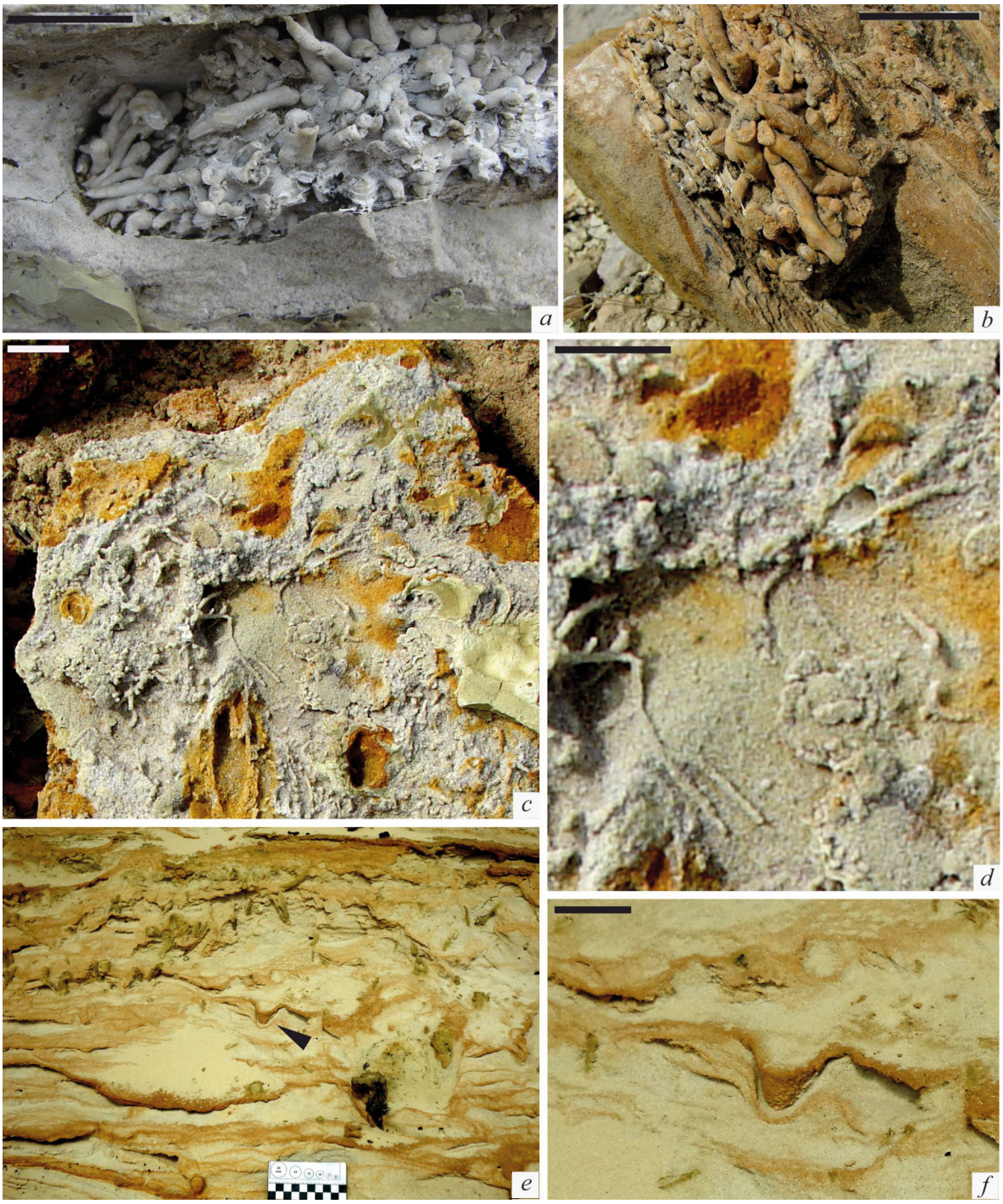


Рис. 8. Іхнофосилії з відкладів бучацької світи Луганщини: (*a, b*) перфорації тереденід *Apectoichnus longissimus* (Kelly et Bromley, 1984) у деревині (Ікове); (*c, d*) нірки *Macaronichnus segregatis* Clifton et Thompson, 1978 (Ікове); (*e*) сильно біотурбовані піски з нірками *Ophiomorpha nodosa* Lundgren, 1891 у верхній частині фото та іхнофосилією cf. *Conichnus* isp. (помічена стрілкою) (Хорошилове); (*f*) збільшена деталь рис. *e*, що показує іхнофосилію cf. *Conichnus* isp. Масштабні відрізки — 20 мм.

Fig. 8. Trace fossils from the Buchak Formation of Luhansk Oblast: (*a, b*) wood borings *Apectoichnus longissimus* (Kelly et Bromley, 1984) (Ikove); (*c, d*) burrows *Macaronichnus segregatis* Clifton et Thompson, 1978 (Ikove); (*e*) heavy bioturbated sands with *Ophiomorpha nodosa* Lundgren, 1891 in the upper part of the photo and trace fossil cf. *Conichnus* isp. (marked by arrow) (Khoroshylove); (*f*) enlarged detail of Fig. *e*, showing trace fossil cf. *Conichnus* isp. Scale bars—20 mm.

Теredініди, хоча й можуть факультативно бути фільтраторами, проте вони, все ж, спеціалізуються на харчуванні целюлозою [Savrda & Smith 1996]. Отже, тунелі в деревині, які виробляють теredініди є продуктом процесу харчування нею, а не укриттям чи місцем існування [Savrda & Smith 1996]. Ці перфорації, зазвичай, довгі та орієнтовані паралельно волокнам деревини; тунелі, вироблені теredінідами часто викривленні або слабко вигинаються, оскільки ці молюски, на відміну від фоладід, можуть вільно рухатися всередині отворів [Savrda & Smith 1996]. Більшість теredінід, як повідомлялося вище, вистилають камери в деревині кальцитом. Всі перераховані особливості морфології та походження перфорацій, продуцентами яких є теredініди, свідчать про те, що цим молюскам належать сліди *Apectoichnus longissimus* [Savrda & Smith 1996]. Сучасні теredініди є космополітами і всі роди, окрім *Kuphus*, є свердлильниками деревини [Turner & Johnson 1971].

Отже, теredініди є вірогідними продуцентами перфорацій *Apectoichnus longissimus* в заміщеній опалом та халцедоном деревині розрізу Ікове. В сучасній фауні теredініди представлені приблизно 70 видами, які значно поширені в нормально-солоних та солонуватих водах помірних і тропічних широт [Turner 1966; McKoy 1980; Borges *et al.* 2014]. Сучасні теredініди відіграють важливу екологічну роль, оскільки вони є головними руйнівниками деревини в морському середовищі [Kříž & Mikulaš 2006].

Місцезнаходження. Кварцитоподібні пісковики розрізу Ікове.

Поширення. Юра–донині.

Іхнорід ***Gastrochaenolites*** **Leymerie, 1842**

Типовий іхновид: *Gastrochaenolites lapidicus* Kelly et Bromley, 1984; за наступним визначенням.

Діагноз. Булавовидні перфорації у кам'яному субстраті. Зона апертури отвору вужча за головну камеру і може мати круглу, овальну чи гантелеподібну форму. Устя інколи відділяється від головної камери шийкою, яка в деяких випадках може досягати значної довжини. Форма головної камери варіює від субсферичної та видовженої з випуклою основою та круглим чи еліпсоїдальним поперечним перерізом; у деяких іхновидів вона серце- чи мигдалеподібна [Kelly & Bromley 1984: p. 797; переклад наш — В.Д., М.У.].

Іхновиди. До іхнороду *Gastrochaenolites*, окрім типового іхновиду, відносяться *G. ampullatus* Kelly et Bromley, 1984; *G. anauchen* Wilson et Palmer, 1998; *G. cluniformis* Kelly et Bromley, 1984; *G. cor* Bromley et D'Alessandro, 1987; *G. dijugus* Kelly et Bromley, 1984; *G. hospitium* Kleemann, 2009; *G. oelandicus* Ekdale et Bromley, 2001; *G. orbicularis* Kelly et Bromley, 1984; *G. ornatus* Kelly et Bromley, 1984; *G. pickerilli* Donovan, 2002; *G. torpedo* Kelly et Bromley, 1984; *G. turbinatus* Kelly et Bromley, 1984 та *G. vivus* Edinger et Risk, 1994 [Donovan 2011].

Зауваження. Нірки існування *Gastrochaenolites* — це одні з найпоширеніших слідів біоерозії карбонатних субстратів юрського–голоценового віку [Mikuláš & Dronov 2006]. Найдавніші сліди *Gastrochaenolites* відомі з пенсильванію [Wilson & Palmer 1998] чи навіть ордовику [Ekdale & Bromley 2001]. Продуцентами іхнофосилій *Gastrochaenolites* є переважно бівальвії, а також гастроподи родини Coralliophillidae та деякі сипункуліди (Sipunculida) [Bromley 2004; Donovan 2011].

Поширення. ?Ордовик, пенсильваній–донині багатьох місцезнаходжень світу.

Gastrochaenolites **isp.**

Рис. 9 *a–c, e*

Матеріал. Велика кількість іхнофосилій *in situ*.

Опис. Сліди біоерозії у вигляді субсферичних або еліпсоїдальних камер у кременевій гальці та хардграунді на поверхні верхньокредових мергелів, від яких до верхньої поверхні субстрату відходить апертуральний вузький відрізок (так звана шийка), товщина якого значно менша за діаметр камер, який зазвичай складає 4–5 мм при висоті 7–8 мм. Поперечний переріз камер округлий. Отже, загальна форма пустот — булавовидна чи краплеподібна. Камери заповнені

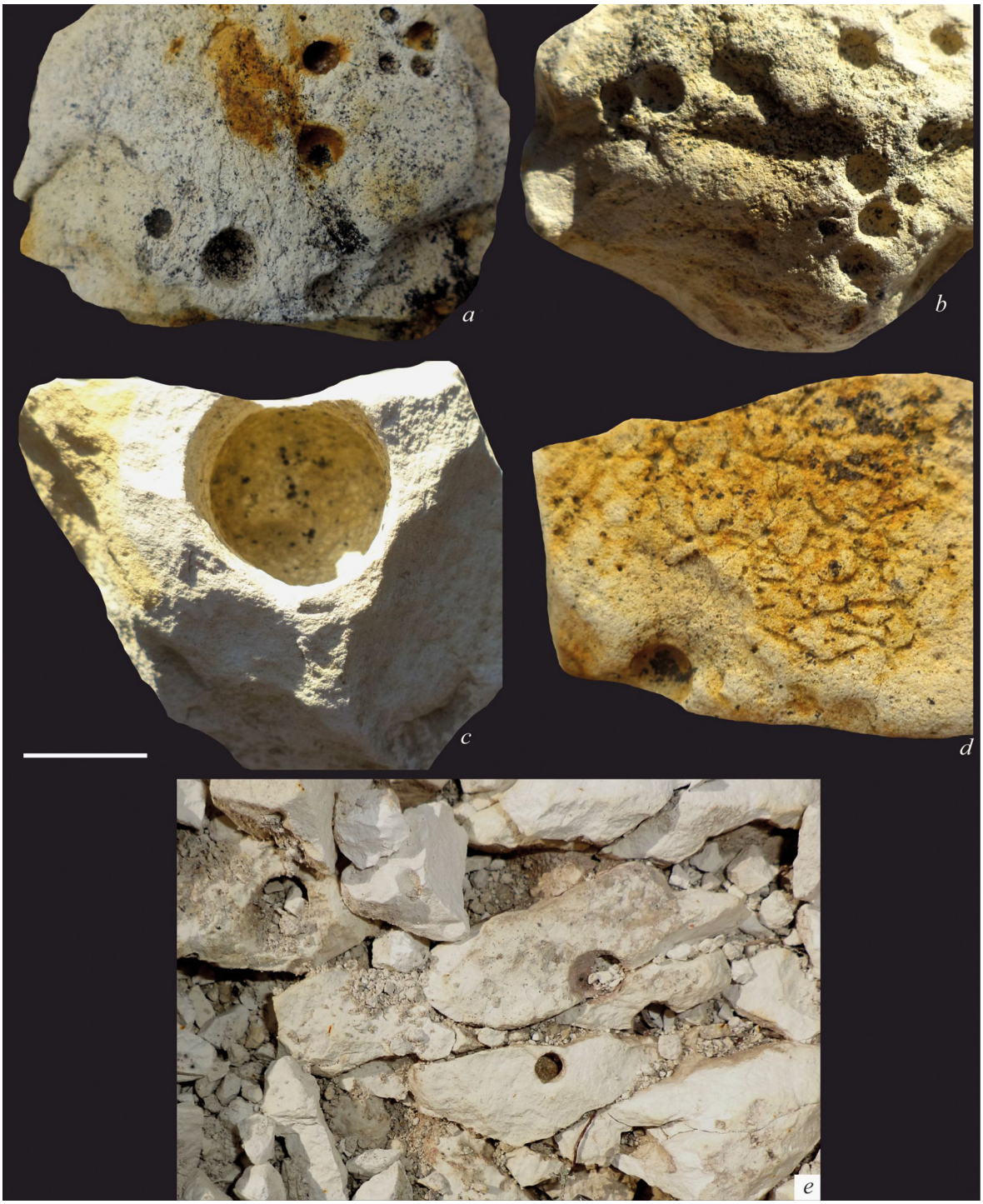


Рис. 9. Іхнофосилії на поверхні контакту верхньокрейдових мергелів та палеогенових пісків Луганщини: (*a, b, e*) перфорації *Gastrochaenolites* isp. на поверхні хардграунду в покрівлі верхньокрейдових мергелів (*a, b* — Георгіївка, *e* — Бараниківка); (*c*) перфорації *Gastrochaenolites* isp. на поверхні хардграунду в покрівлі верхньокрейдових мергелів (Сватове); (*d*) *Gnatichnus* isp. (Георгіївка). Масштабний відрізок — 20 мм.

Fig. 9. Trace fossils from the contact of the Upper Cretaceous marls and Paleogene sands in Luhansk Oblast: (*a, b, e*) borings *Gastrochaenolites* isp. in the hardground on the upper surface of the Upper Cretaceous marls (*a, b*—Heorhiyivka, *c*—Baranykivka); (*c*) borings *Gastrochaenolites* isp. in the hardground on the upper surface of the Upper Cretaceous marls (Svatove); (*d*) *Gnatichnus* isp. (Heorhiyivka). Scale bar—20 mm.

піском та пісковиком. Інколи всередині них трапляються уламки черепашок продуцентів цих отворів — невизначених бівальвій (Ікове). Переважна більшість вивчених нами іхнофосилій збереглася не повністю — часто апертуральна частина камер еродована і в гальці та мергелях збереглися лише їхні нижні частини.

Серед описаних іхнофосилій чітко виділяється дві розмірні групи: дрібні (Рис. 9 *a, b*), з діаметром головної камери 5–10 мм та великі (Сватове, Бараниківка), діаметром близько 20–30 мм (Рис. 9 *c*, *e*). Ці морфотипи можуть бути різними іхновидами, але визначити їх не вдалося.

Місцезнаходження. Хардграунди на поверхні верхньокрейдових мергелів у Сватовому, Бараниківці та Георгіївці; кременева галька базального шару бучацької світи в Іковому; ізольована кременева галька з пісків нижньої частини бучацької світи у Хорошиловому.

Поширення. ?Ордовик, пенсильваній–донині багатьох місцезнаходжень світу.

Решта досліджених іхнофосилій монографічно не описані, в статті наводимо лише їхні зображення: *Conichnus* isp. (див. рис. 8 *e*, *f*), *Gnathichnus* isp. (див. рис. 9 *d*), *Macaronichnus segregatis* Clifton et Thompson, 1978 (див. рис. 7 *c*, *f*; 8 *c*, *d*), *Palaeophycus* isp., cf. *Rosselia* isp. (Рис. 7 *e*); нами також визначено іхновиди *Spongeliomorpha* isp. і *Thalassinoides* isp. (їхні зображення не наводимо).

Результати дослідження

Походження кварцитоподібних пісковиків розрізу Ікове

Характерною особливістю розрізу Ікове, як вже зазначалося, є локальне латеральне заміщення пісків бучацької світи кварцитоподібними світлими пісковиками з масивною однорідною структурою. Походження цих пісковиків є об'єктом тривалої дискусії. М. Я. Бланк та В. О. Зелінська [Blank & Zelinskaya 1979] вважали, що в розрізах палеогену Луганщини, де вище бучацьких пісків залягають водонепроникні породи, окремі брили та масиви кварцитоподібних пісковиків не спостерігаються. Цим згадані дослідники, ймовірно, натякають на інфільтраційне походження пісковиків.

На думку В. Т. Сябряя [Syabryai 1963], кварцитоподібні пісковики утворилися за рахунок інфільтрації в піски розчинів, збагачених кремнеземом, джерелом яких у термінальний бучацький час були прісні озера, що виникли на місці бучацького морського басейну. Зауважимо, що кількість кремнезему в прісних водах суходолу принаймні на порядок більша, ніж в морських водах (10–20 мг/л проти 0,5–2 мг/л) [Strakhov 1966; Ailer 1982]. Точка зору, висловлена В. Т. Сябряєм, пояснює ізометричну в плані форму масивів пісковиків біля Ікового. Однак їхня цементація в розрізі є більш-менш однаковою, хоча має спостерігатися збільшення міцності пісковиків вгору розрізом — в бік гіпотетичного джерела кремнезему. Це питання потребує спеціальної уваги літологів та геохіміків, тут ми можемо лише зробити деякі загальні припущення.

Для хімічного осадження кремнезему в морських умовах необхідно аби його концентрація у воді перевищувала рівень насичення, який коливається в межах 100–120 мг/л, чого в нормальних умовах бути не може [Strakhov 1966]. Однорідна кремениста цементація пісковиків, тобто відсутність горизонтальної зональності її інтенсивності, ймовірно, свідчить про те, що розчин був перенасичений SiO_2 і за таких умов відстань від джерела кремнекислоти вже не мала значення, оскільки вся товща осаду була рівномірно насичена нею шляхом досягнення її граничного рівня, за якого кремнезем вже не міг утримуватися в розчиненому вигляді. Як вже зазначалося, в нормальних умовах це неможливо.

Джерелом прісної води, збагаченої кремнеземом, могла бути дельта великої річки, яка стікала з Воронезької антеклізи. Ця точка зору пояснює присутність великої кількості деревини у відкладах бучацької світи розрізу Ікове та наземно-морський склад фауни хребетних цього місцезнаходження. Проте, масиви пісковиків мали б мати форму лопатей, що відповідають колишнім зонами змішування морських та прісних вод, навіть за умови стратифікації водного стовпа таких зон за солоністю і вмістом кремнезему. Цього, навіть з урахуванням сучасного ерозійного впливу середовища на породи, в натурі не спостерігається.

Слід зауважити, що осинівські пісковики літологічно дуже нагадують палеоценові флороносні кварцитоподібні пісковики, що поширені поблизу м. Камишин у Волгоградській області та суміжних районах Саратовської області РФ (див., наприклад, [Makulbekov 1977; Vikulin *et al*. 2015; Vikulin & Morov 2016]). Як і в Іковому, в Камишині пісковики залягають у вигляді великих масивів; у верхній частині камишинських пісків міцні пісковики складають горизонтальні лінзи, від яких вгору відходять субгоризонтальні трубкоподібні тіла пісковиків [Ivanov 2012; Tsekhovsky 2017].

Пісковики Поволжя вміщують відбитки наземної листової флори та мінералізовану деревину [Makulbekov 1977; Vikulin *et al*. 2015; Vikulin & Morov 2016], а також рештки морської фауни, в тому числі представників стеногалінних груп — морських зірок та ехіноідей [Pervushov *et al*. 2004]. Порівняно нещодавно було оприлюднено припущення щодо того, що ці пісковики є продуктами гідротермального седиментогенезу [Ivanov 2012; Tsekhovsky 2017].

Ю. Г. Цеховський [Tsekhovsky 2017] припускає, що лінзовидні тіла кварцитоподібних пісковиків серед пісків бучацького регіоярусу Дніпровсько-Донецької западини є так званими гідротермалітами. В місцезнаходженні бучацьких гідротермалітів біля с. Григорівка в Придніпров'ї, яке вивчив Ю. Г. Цеховський, міцні пісковики на опаловому та халцедоновому цементі утворюють субвертикальну тоненьку (10–15 см) дайку, яка вгорі розгалужується, а ще вище переходить в куполоподібне тіло міцних кварцитоподібних пісковиків, товщиною 4 м [Tsekhovsky 2017]. Субвертикальні дайки інтерпретовано в цитованій вище роботі як шляхи переміщення насичених кремнеземом термальних вод, при розвантажені яких утворилися кварцитоподібні пісковики [Tsekhovsky 2017]. Слід зазначити, що цитований автор [Tsekhovsky 2017: p. 39] наголошує на значному поширенні наддайкових куполоподібних тіл кварцитів та пісковиків у палеоценових та ранньо- і середньоеоценових відкладах Воронезької антеклізи, Придніпров'я, Поволжя, Приуралля та Приаралля.

Отже, не слід виключати як один із варіантів гідротермальний генезис кварцитоподібних та кременистих пісковиків Ікового та, вірогідно, інших розрізів бучацької світи. Зауважимо, що ця концепція пояснює джерело перенасичених кремнеземом розчинів та форму залягання масивів кварцитоподібних пісковиків.

Результати вивчення іхнофосилій

З відкладів бучацької світи вивчених розрізів нами визначено наступні іхнофосилії: *Apectoichnus longissimus* (Kelly et Bromley, 1984), cf. *Conichnus* isp., *Gastrochaenolites* isp., *Gnathichnus* isp., *Macaronichnus segregatis* Clifton et Thompson, 1978, *Ophiomorpha nodosa* Lundgren, 1891, *Palaeophycus* isp., cf. *Rosselia* isp., *Skolithos linearis* (Haldeman, 1840), *Spongeliomorpha* isp. та *Thalassinoides* isp.

Як бачимо паратаксономічне різноманіття іхнофосилій досить невелике. Всі зазначені вище іхнотаксони відносяться до етологічних груп фодініхній (сліди харчування всередині субстрату: *Apectoichnus*, *Macaronichnus, Palaeophycus*), пасціхній (сліди харчування на поверхні субстрату: *Gnathichnus*) та доміхній (сліди мешкання: *Conichnus, Gastrochaenolites, Ophiomorpha, Rosselia, Skolithos, Spongeliomorpha* і *Thalassinoides*). Низьке різноманіття іхнофосилій можливо пояснюється як літологічними особливостями відкладів, що не сприяють їхньому збереженню, так і умовами їх накопичення (наприклад, високою рухомістю води під час формування пісків).

Аналіз літологічних особливостей порід, а також екології вірогідних продуцентів іхнофосилій, що в них містяться, дозволив виділити у відкладах вивчених розрізів три іхнофації: сколітову, теredолітову і тріпанітову+гнатіхнову. Іхнофація, за Мікулашем та Дроновим [Mikuláš & Dronov 2006: p. 16] — це «геологічний запис іхноценозу»[3]. Визначення вкрай неоднозначне.

[3] Тут ми, ймовірно, маємо справу зі складнощами перекладу з англійської (або чеської) на російську мову і більш коректний його варіант мав би мати вигляд «геологічний (викопний) літопис іхноценозу».

Ми розглядаємо іхнофацію як сукупність характерних викопних іхнотаксонів, що утворилися в якості реакції організмів на конкретні біотичні та абіотичні умови середовища існування; аналогом іхнофації в сучасну геологічну епоху є іхноценоз.

Тріпанітова та гнатіхнова іхнофації (англ. Trypanites+Gnathichnus Ichnofacies) характеризується розвитком слідів життєдіяльності біоеродерів, що відносять до іхнородів *Trypanites*, *Gastrochaenolites*, *Entobia*, *Rogerella*, *Uniglobites*, *Maeandropolydora*, *Circolites*, *Conchotrema*, *Caulostrepsis* (тріпанітова іхнофація) [Furlong *et al*. 2015] та *Gnatichnus* і *Renichnus* (гнатіхнова іхнофація) [Mikuláš & Dronov 2006]. У розрізах, де присутні характерні для тріпанітової іхнофації сліди біоерозії (Бараниківка, Сватове) вона виділяється досить впевнено. В розрізі Георгіївка разом з *Gastrochaenolites* присутні також *Gnatichnus* і тут не можна відділити тріпанітову іхнофацію від гнатіхнової. Слід також зауважити, що тріпанітова та гнатіхнова іхнофації поширені переважно на поверхні верхньокрейдових мергелів, які навряд чи можна віднести до рокграундів, а, радше, їх слід вважати хард- чи навіть фірмграундами. Для іхноценозів останніх двох типів субстратів характерна глоссіфунгітова іхнофація [Mikuláš & Dronov 2006]. Зазначимо, що деякі характерні риси цієї іхнофації (нірки *Spongeliomorpha* в покрівлі верхньокрейдових мергелів) виявлено у Сватовому. Однак отримані дані не демонструють факту того, що зазначені субстрати були також біотурбовані, що є характерною ознакою глоссіфунгітової іхнофації, тому тут ми розглядаємо зазначені іхноценози в складі тріпанітової та гнатіхнової іхнофацій**.**

Біологічна ерозія визначається як руйнування твердих субстратів, таких як гірські породи, мушлі, кістки або деревина, різноманітними організмами в процесі зіскоблювання, перфорації хімічним і механічним шляхом тощо [Bromley 1992; Demircan 2012]. Ендолітні спільноти біоеродерів розвиваються на субстратах, на яких відсутня седиментація [Bromley & Asgaard 1993]. Порівняно прості неглибокі сліди, що виникають під час короткочасних епізодів біоерозії, продукуються, як правило, піонерними спільнотами біоеродерів [Bromley & Asgaard 1993], які зникають тоді, коли ерозія змінюється седиментацією. Вірогідно, відносно прості неглибокі сліди біоерозії хардграундів на поверхні верхньої крейди деяких вивчених розрізів вироблені саме такими спільнотами, які в роботі [Bromley & Asgaard 1993] віднесено до слідів біоерозії «ярусу B». Цей ярус характеризуються присутністю слідів зіскоблювання мікробіальних матів морськими їжаками (іхнофосилії *Gnatichnus*).

У розрізі Георгіївка іхнофосилії *Gastrochaenolites* трапляються спільно з *Gnatichnus,* причому останній іхнорід, як зазначалося вище, є типовим для гнатіхнової іхнофації, яка розвивається на скельних поверхнях у місцях з низькою активністю водної товщі. Зважаючи на те, що перфорації *Gastrochaenolites*, які трапляються спільно з *Gnatichnus,* є дуже еродованими, в той час як гнатіхнуси майже не пошкоджені, можемо зробити висновок, що на цій поверхні закарбовано дві послідовні іхнофації — тріпанітову, яка формувалася на хардграундах з високою та середньою активністю води, та гнатіхнову, яка розвинулася пізніше тріпанітової іхнофації, тоді коли динаміка водного стовпа значно понизилася, тобто напередодні початку пришвидшення темпів седиментації.

Як зазначається в статті [Furlong *et al*. 2015], вивчення тріпанітової іхнофації зазвичай обмежується палеоекологічними чи палеогеографічними спостереженнями в межах окремих розрізів; даних щодо латерального поширення одновікових тріпанітових іхнофацій недостатньо. Отримані нами дані показують, що тріпанітова та гнатіхнова іхнофації на контакті відкладів верхньої крейди та бучацької світи суттєво не змінюються на відстані близько 100–110 км (від Бараниківки на півночі до Георгіївки на півдні). Це спричинено як близькими умовами розвитку спільнот біоеродерів, так і морфологічною простотою біоерозій, яка обмежує об'єм даних, необхідних для порівняльного аналізу. Однак, необхідно зауважити, що зазначені іхнофації є умовно одновіковими, оскільки принцип Головкінського гарантує гетерохронність початку седиментації у різних частинах палеокваторії трансгресуючого басейну, яким власне і було ранньобучацьке море окраїн ДСС.

Тередолітова іхнофація (англ. Teredolites Ichnofacies) виділена для асоціацій іхнофосилій деревних субстратів, які складаються з *Apectoichnus* та *Teredolites* [Gingras *et al*. 2004; Buntin *et al*. 2022]. Більшість іхноценозів давніх тередолітових іхнофацій вирізняються низьким різноманіттям слідів біоерозії, що обмежене двома названими іхнородами [Bromley *et al*. 1984; Gingras *et al*. 2004]. Вони інколи демонструють розмірні модифікації, спричинені повторною колонізацією субстрату біоеродерами та різною зрілістю особин продуцентів слідів [Gingras *et al*. 2004].

Лукас [Lucas 2016] розглядає тередолітову іхнофацію як морський аналог виділеної ним палеосколітусової іхнофації (англ. Paleoscolytus Ichnofacies), — сукупності слідів біоерозії в деревині та листі, що виникли в наземних умовах.

Характерною особливістю сучасних аналогів тередолітової іхнофації є значно вище паратаксономічне різноманіття іхнофосилій [Gingras *et al*. 2004]. Наприклад, звичними слідами організмів, що мешкали всередині або на поверхні сучасного деревного субстрату з мулів морської затоки на узбережжі штату Вашингтон (США), окрім *Teredolites,* є: cf. *Caulostrepsis*, *Meandropolydora*, *Rogerella*, *Entobia*, *Trypanites*, *Psilonichnus* та *Thalassinoides* [Gingras *et al*. 2004]. Проте, як зазначають автори цитованої роботи, ці визначення, окрім *Teredolites*, є умовними, оскільки одна частина цих слідів біоерозії (*Meandropolydora, Rogerella, Entobia, Trypanites*) характерна для твердих та скельних субстратів (наприклад, черепашок молюсків, поверхонь кам'яного дна тощо), в той час як інша (*Psilonichnus* і *Thalassinoides*) зазвичай поширена на м'яких ґрунтах.

У викопному стані асоціація біоерозій, що описана в роботі [Gingras *et al*. 2004], не відома. Ця обставина, на думку авторів цитованої роботи, є тафономічним артефактом. Дійсно, дрібні перфорації *Entobia, Rogerella, Caulostrepsis* та *Meandropolydora*, які проникають на невелику глибину в субстрат, могли бути знищеними внаслідок природного розкладання деревини, її тертя під час водного транспортування тощо.

Зазвичай тередолітова іхнофація розглядається в якості індикатора прибережно-морських та мілководно-морських умов [Bromley *et al*. 1984; Mayoral *et al*. 2020], однак відомі випадки присутності слідів *Teredolites* у порівняно глибоководно-морських умовах [Turner 1973], що, однак, не повинно дивувати, оскільки деревина здатна розноситися течіями на значні відстані.

Перфорації *Teredolites* знайдено в деревинних субстратах різного типу: в плавнику, кореневищах мангрової рослинності, затоплених лісах, горіховій шкаралупі, палях пірсів, корпусах суден тощо [Kelly & Bromley 1984]. Келлі та Бромлі [Kelly & Bromley 1984] ввели в науковий обіг термін «вудграунд» (англ. woodground) — особливий тип субстрату (поряд із соуп-, стіфф-, софт-, фірм-, хард- та рокграундами), що складається переважно із затопленої деревини. Пізніше Саврда та Кінг [Savrda & King 1993] розділили вудграунди на два підтипи — деревні пітграунди (англ. xylic peatground), які визначаються як відносно стійкі у просторі багатокомпонентні деревні субстрати, що відповідають тередолітовій іхнофації (англ. «relatively laterally persistent composite wood substrates that correspond to the Teredolites ichnofacies» [Savrda & King 1993: p. 69]) та лог-граунди (англ. log-grounds) — «відносно невеликі за площею однокомпонентні субстрати, представлені ізольованими колодами» («relatively small, non-composite substrates represented by isolated logs» [Savrda & King 1993: p. 69]). Вивчені нами біоерозії в деревині з Ікового відносяться до деревних пітграундів.

Саврда зі співавторами [Savrda 1991; Savrda *et al*. 1993; 2005; Savrda & King 1993] припускав, що існує тісний зв'язок між накопиченням фрагментів деревини на прибережних ділянках мілководних частин морських басейнів та підвищенням рівня моря. Скупчення деревини, за спостереженнями зазначених вище дослідників, зазвичай викликане (1) переміщенням берегової лінії вглиб суші і посиленням приносу в прибережні частини басейну деревини із затоплених лісових масивів, розташованих, перш за все, в межах прибережних низин; (2) концентрацією фрагментів деревини в прибережних осадах внаслідок суттєвого зниження кількості

уламкового матеріалу, що виноситься з прилягаючого суходолу. Цієї ж думки дотримуються також Джінджрес зі співавторами [Gingras *et al.* 2004], які зазначають, що існує безліч прикладів того, що скупчення мінералізованої деревини з перфораціями *Teredolites* трапляються серед відкладів, що утворилися в результаті порівняно швидкого затоплення морськими водами значних площ низинного суходолу. Слід зауважити, що уявлення про трансгресію як про дуже тривалий процес, насправді, є лише частково коректними, оскільки значні площі низинного прибережного суходолу, ймовірно, можуть затоплюватися морськими водами за дуже короткий час в результаті, наприклад, прориву берегового валу внаслідок катастрофічного шторму чи кількох штормів [Nalivkin 1969].

Результати вивчення розрізу Ікове не підтверджують точку зору щодо прямої залежності формування скупчень значних об'ємів деревини і підвищенням рівня моря, оскільки піски бучацької світи цього розрізу демонструють чітку регресивну послідовність (піски найвищої частини розрізу можуть бути континентальними чи субконтинентальними відкладами) [Udovychenko 2009]. М. М. Клюшніков [Klyushnikov 1958] зазначав, що відклади нижньої частини бучацької світи (так званий «костянецький горизонт») накопичилися в глибоководніших умовах, ніж породи верхньої половини бучацької світи (=«трахтемирівський горизонт» М. М. Клюшнікова). Тобто спостереження М. М. Клюшникова також свідчать про прогресуюче обміління бучацького басейну.

Скупчення мінералізованої деревини є характерними для дельтових відкладів [Mikuláš & Dronov 2006]. Дельтове походження пісків та пісковиків Ікового, на підставі змішаного наземно-морського складу фауни хребетних, відстоюється в роботі [Zvonok *et al.* 2012]. Судячи з усього, скупчення фрагментів деревини в Іковому є відображенням процесу проградації цієї дельти, тобто висування її фронту все далі в море. Тому тут спостерігається зворотна залежність — скупчення суттєво біоеродованої деревини поширені в породах регресивної послідовності.

Вже досить давно було доведено, що систематична належність рослин, а відтак і вміст кремнезему в їхніх тканинах, не впливає на їхню здатність заміщуватися опалом чи халцедоном [Buurman 1972]. Заміщення деревини кремнеземом можливе лише після її перекриття осадом [Philippe *et al.* 2022]. Органічна речовина в морських умовах розкладається переважно шляхом мікробної сульфатредукції, одним із результатів якої є збільшення лужності порових вод [Bowles *et al.* 2014]. Це, в свою чергу, сприяє розчиненню кремнезему [Kuechler *et al.* 2012; Philippe *et al.* 2022]. Цей мобілізований кремнезем за незначних коливань pH переважно мінералізує стінки клітин деревини завдяки близькості кремнекислоти та гідроксильних груп в голоцелюлозах та лігнітах, що і веде до мінералізації деревини загалом [Philippe *et al.* 2022].

Можливою причиною, що спровокувала скупчення деревнини в дельтах давніх річок могли бути також землетруси та шторми [Philippe *et al.* 2022] або сезонні коливання клімату (сезони дощів) [Matysová *et al.* 2010]. Слід зауважити, що автори роботи [Philippe *et al.* 2022] також задалися питанням походження кремнезему, що складає мінералізовану деревину зі світи Мзамба (верхня крейда, ПАР). На їхню думку, цими джерелами можуть бути гідротермальні розчини, а також продукти розкладання в морській воді вулканічного попелу, польових шпатів, скелетів радіолярій та кременевих губок. В підсумку, автори вказаної роботи дійшли висновку, що мінералізована деревина зі світи Мзамба могла утворитися внаслідок розчинення численних кременистих скелетів радіолярій та панцирів діатомових водоростей, проте ніяких слідів їхньої присутності у відкладах зазначеної світи не виявлено. Автори роботи [Matysová *et al.* 2010] вважають джерелом кремнезему, що складає мінералізовану деревину з верхньопалеозойських відкладів Чехії, польові шпати, що містяться в складі пісковиків та конгломератів з деревиною. В більш давній літературі (огляд в [Buurman 1972]) відстоюється точка зору, згідно якої деревина в осадах заміщувалася кремнеземом внаслідок впливу збагачених кремнекислотою підземних вод.

Лакруа (цит. за [Buurman 1972]) описав заміщену опалом деревину із термальних джерел, проте цей випадок слід розглядати радше як виключення із загальної закономірності, згідно якої заміщення деревини кремнеземом відбувається переважно внаслідок вивітрювання піроклластичних відкладів, хоча й далеко не завжди [Buurman 1972].

Як показали спостереження над численним сучасним та викопним матеріалом [Matysová *et al*. 2010], бути похованою в прибережно-морських відкладах і мінералізуватися здатна переважно ріпарійна рослинність. Приблизно це ж повідомляється і в роботі [Buurman 1972], проте з невеликою обмовкою — гумідний клімат більш сприяє мінералізації деревини кремнеземом. Як зазначає Буурман [Buurman 1972], хоча мінералізація деревнини можлива і в морських умовах, проте найчастіше вона відбувається на суходолі.

В будь-якому випадку, незаперечним є факт того, що деревина з Осинового, після потрапляння в осад, мінералізувалася дуже швидко, переважно до стадії постдіагенетичного ущільнення осаду (фрагменти деревини майже або зовсім не деформовані). В такому випадку, звісно, притік прісних вод не мав вирішального значення для мінералізації осинівської деревини. Зауважимо, що питання походження осинівської мінералізованої деревини вимагає спеціального дослідження. Тут ми лише зазначимо, що на перший погляд ймовірний парагенезис кварцитоподібних пісковиків та мінералізованої деревини не підтверджується, так як остання трапляється і в пісках.

Сколітова іхнофація (англ. Skolithos Ichnofacies) характерна для відкладів, що сформувалися за помірної та високої енергії водного стовпа, постійного переміщення нелітифікованих субстратів та їхньої епізодичної ерозії [Seilacher 1967; Droser 1991].

Серед вивчених відкладів для цієї іхнофації є характерними *Skolithos linearis*, *Ophiomorpha nodosa*, *Thalassinoides* isp., *Macaronichnus segregatis*, cf. *Rosselia* isp., cf. *Conichnus* isp. та *Palaeophycus* isp. Присутність *Thalassinoides* та cf. *Rosselia* може свідчити про належність частини відкладів до більш глибоководної крузіанової іхнофації (англ. Cruziana Ichnofacies), проте перший іхнорід поширений досить обмежено: рідкісні фрагменти лімонітизованих нірок зафіксовано лише в пісках розрізу Георгіївка (в розрізі Бараниківка ці іхнофосилії утворилися вже під час накопичення відкладів київської світи). Другий іхнорід визначено із сумнівами за єдиним екземпляром з пісків розрізу Розкішне.

Тривимірні системи нірок існування десятиногих ракоподібних *Thalassinoides* Ehrenberg, 1944 (*T.* isp.) знайдено в Георгіївці та Бараниківці. Вивчений матеріал представлено фрагментами прямих циліндричних нірок із гладенькою стінкою, діаметром 25–35 мм, що складаються з фосфатизованого (Бараниківка) та лімонітизованого пісковику (Георгіївка). Всередині нірок з Бараниківки трапляються рідкісні дрібні фрагменти кісток кісткових риб.

Невеликий фрагмент деформованого ядра нірки *Palaeophycus* isp. знайдено в пісках розрізу Ікове. Цей іхнотаксон не має конкретної фаціальної прив'язки, хоча, як зазначається в роботі [Mikuláš & Dronov 2006], він часто буває поширений в межах крузіанової іхнофації; трапляється і в неморських відкладах [Mikuláš & Dronov 2006].

Іхнофосилії *Macaronichnus segregatis* Clifton et Thompson, 1978 представлені заповненнями звивистих, коротких, тоненьких (діаметр 2–2,5 мм) циліндричних нірок харчування всередині осаду, орієнтованих паралельно чи під невеликим кутом до площини нашарування. Ці іхнофосилії знайдено в пісках розрізу Хорошилове, пісковиках розрізу Ікове та конкреціях міцних пісковиків серед пісків розрізу Георгіївка.

Ці іхнофосилії є характерними для мілководно-морських піщаних субстратів [Nara & Seike 2019]. Спостереження над викопними слідами *Macaronichnus segregatis* та актуалістичні дані показали, що найвірогіднішими продуцентами цих іхнофосилій є поліхети родин Opheliidae та Travisiidae, які харчуються мікробіальними плівками на піщинках та органічним детритом у мінеральному осаді [Dafoe *et al*. 2009; Nara & Seike 2019]. Достовірні знахідки *Macaronichnus segregatis* відомі починаючи з ордовику; вони трапляються і в сучасних мілководних морських осадах [Nara & Seike 2019].

Щодо фаціального поширення цих іхнофосилій в літературі повідомляються різні дані. Найчастіше наголошується на присутності *Macaronichnus segregatis* у літоральних та субліторальних відкладах, переважно пісках [Bromley *et al.* 2009]. Є також згадки щодо присутності *Macaronichnus segregatis* у відкладах прибережного бару, естуарію, продельти та фронту дельти [Bromley *et al.* 2009]. Вірогідно, поширення цих іхнофосилій контролюється, перш за все, достатньою кількістю кисню та порівняно незначною, як для мілководних прибережних ділянок, рухомістю води [Bromley *et al.* 2009]. Остання обставина пов'язана з тим, що продуценти *Macaronichnus segregatis* ведуть приповерхневий інфаунний спосіб життя на глибинах, що зазвичай не перевищують 0,05–0,20 м [Bromley *et al.* 2009].

Macaronichnus segregatis, на підставі сучасного поширення їхніх продуцентів, вважаються індикаторами помірних та холодних вод [Quiroz *et al.* 2010]. Їх знахідки у відносно низькоширотних пізньоолігоценових та ранньоміоценових відкладах Венесуели пояснюються дією прибережного апвелінгу, в результаті якого до поверхневих шарів водної товщі підіймалися відносно холодні придонні води [Pemberton *et al.* 2006; Quiroz *et al.* 2010]. Низка літологічних (буре вугілля) та палеонтологічних індикаторів (тепловодна морська фауна, кільця річного приросту мінералізованої деревини, габітус наземної флори тощо) свідчить на користь теплого субтропічного клімату в середньому еоцені на території сучасної України.

Зважаючи на поширення як у континентальних, так і в морських відкладах, нечіткість діагностичних ознак та невизначеність іхновидового складу, наразі іхнорід *Skolithos* втратив статус палеоекологічного індикатора [Knaust *et al.* 2018]. Зауважимо, що в структурі постпалеозойських сколітових іхнофацій абсолютно домінують біотурбації *Ophiomorpha*; сколітеси мають підлегле значення [Droser 1991; Azizi *et al.* 2017]. Отже, результати вивчення іхнофосилій бучацької світи, вірогідно, підтверджують загальну тенденцію зниження ролі *Skolithos* у структурі пост-палеозойських сколітових іхнофацій і домінуванням іхнофосилій *Ophiomorpha* в її мезокайнозойській частині.

Сколітова іхнофація характерна для всієї товщі пісків та пісковиків бучацької світи Луганщини, окрім їхньої базальної частини, де присутній галечниковий прошарок зі слідами біоерозії *Gastrochaenolites* isp. В інтервалах розрізу, що вміщують скупчення мінералізованої деревини з перфораціями *Apectoichnus longissimus* (Ікове), ми виділяємо сколітово-тередолітову іхнофацію (Skolithos + Teredolites Ichnofacies). Зважаючи на повідомлення щодо присутності іхнофосилій *Ophiomorpha nodosa* у пісках бучацької світи поблизу смт Білоріченський трохи західніше Луганська [Moroz & Savron 1975], можемо припустити, що і для цих пісків та пісковиків характерною є сколітова іхнофація.

Сколітова іхнофація характеризується широким розвитком біотурацій *Skolithos*, продуцентами яких були організми, що харчувалися зваженими у воді частками [Knaust *et al.* 2018]. Для сколітової іхнофації, особливо серед палеозойських відкладів, характерна так звана іхнотекстура «piperock» (буквально — «трубчастий камінь»), яка виникає внаслідок присутності монотаксонних скупчень вертикальних нірок *Skolithos* за досить інтенсивної біотурбації відкладів (ii = 3) [Droser 1991; McIlroy & Garton 2010]. Отже, «piperock» є синонімом принаймні палеозойської частини сколітової іхнофації.

Іхнотекстура «piperock» зазвичай інтерпретується як індикатор літоральної, пляжної та приливно-відливної зони з піщаними субстратами. Проте, в палеозойських товщах «piperock» трапляється в мілководно-морських, естуарних та лагунних пісковиках [Droser 1991]. Також «piperock» відомі серед палеозойських неморських відкладів [Crimes & Germs 1982; Collinson *et al.* 1986]. У молодших відкладах (верхня крейда Канади) «piperock» виявлено серед темпеститів [Vossler & Pemberton 1988].

Окрім перерахованих вище іхнотаксонів, серед пісків бучацької світи розрізу Ікове трапляються фрагменти горизонтальних деформованих нірок, заповнених дрібними еліпсоїдальними пелетами, розміром до 1,5 мм (Рис. 10). Ці фосилії досить схожі на нірки *Ophiomorpha*, проте значно менші в діаметрі та сильно деформовані; до того ж пелети невизначених іхнофосилій мають еліпсоїдальну форму і значно менші за розмірами, ніж у офіоморф.

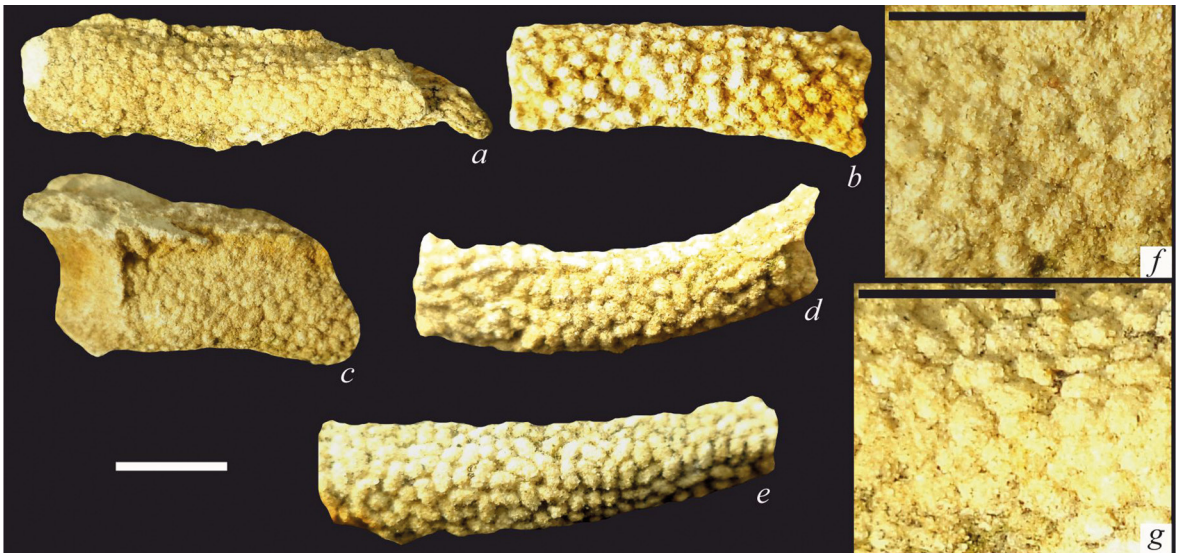


Рис. 10. Невизначені іхнофосилії з пісків розрізу Ікове: загальний вигляд фрагментів нірок (*a–e*) та поверхня нірок збільшено (*f, g*). Масштабні відрізки — 10 мм (*a–e*) та 5 мм (*f, g*).

Fig. 10. Unidentified trace fossils from the sands of the Ikove section: general view of fragment of burrows (*a–e*) and the surface of the burrows enlarged (*f, g*). Scale bars—10 mm (*a–e*) and 5 mm (*f, g*).

Палеогеографічна інтерпретація результатів вивчення іхнофосилій

Сліди біоерозії на поверхні контакту верхньої крейди та бучацької світи (Ікове, Бараниківка, Георгіївка) свідчать про розвиток тріпанітової іхнофації в умовах високої активності водного стовпа за майже нульової седиментації. Хардграунди на поверхні мергелів верхньої крейди колонізували в основному двостулкові молюски-фоладіди. Пізніше, активність водного стовпа знизилась, проте седиментація залишалася все ще низькою; в таких умовах отримала розвиток гнатіхнова іхнофація, за якої харчовою стратегією тварин, що населяли поверхню хардграунду, було зіскоблювання з неї органічних плівок. Тріпанітова іхнофація також мала розвиток під час накопичення базального галечнику бучацької світи. Іхнофосилії цього субстрату, який, ймовірно, постійно переміщувався, заслуговують спеціального дослідження. Більша частина розрізу бучацької світи в районі досліджень утворилася в умовах сколітової іхнофації, а саме в літоральних умовах за значної рухомості води, для протистояння якій організми вимушені були будувати системи нірок, часто укріплені футеровкою. Вірогідно, в процесі накопичення псамітових порід бучацької світи існували моменти зниження темпів седиментації, які фіксуються прошарками, що переповнені нірками *Ophiomorpha*. Це ж, можливо, стосується і тоненьких прошарків зелених флороносних глин у пісках та піскових розрізу Ікове. Деякі інтервали часу, вирізнялися також зниженням активності водного стовпа, за якої піски літоралі та, ймовірно, субліторалі колонізувалися продуцентами нірок *Macaronichnus segregatis*.

В місцях масового скупчення деревини (Ікове) виділяється теredолітова іхнофація, яка характеризується розвитком молюсків-тереденід, що спеціалізуються на харчуванні деревиною. Їхню присутність можна було б інтерпретувати як порівняно спокійні обстановки седиментації, оскільки тунелі *Apectoichnus* — це нірки харчування, а не засіб протистояння високій рухомості води, проте тут також трапляються офіоморфи, що вказують, як вже зазначалося, на високу рухомість води.

Поверхня контакту бучацької та київської світ (Бараниківка) є фірмграундом з розвинутим на його поверхні та під нею глоссіфунгітової іхнофацією, яка функціонувала вже під час накопичення відкладів київської світи. Для цієї іхнофації були характерними висока енергія водного стовпа та присутність організмів, які здатні біотурбувати порівняно щільні субстрати.

Висновки

З відкладів бучацької світи Луганської області визначено одинадцять іхнотаксонів фодініхній, пасціхній та доміхній: *Apectoichnus longissimus,* cf. *Conichnus* isp., *Gastrochaenolites* isp., *Gnathichnus* isp., *Macaronichnus segregatis, Ophiomorpha nodosa*, *Palaeophycus* isp., cf. *Rosselia* isp., *Skolithos linearis, Spongeliomorpha* isp. і *Thalassinoides* isp. Аналіз літологічних особливостей порід, а також екології вірогідних продуцентів іхнофосилій, що в них містяться, дозволив виділити у відкладах вивчених розрізів три іхнофації: сколітову, тередолітову та тріпанітову+гнатіхнову.

Результати виконаних досліджень показали, що вивчення іхнофосилій з палеогенових відкладів України має велике значення для реконструкції умов седиментації та літостратиграфічного розчленування товщ, бідних на палеонтологічні рештки.

Подяки

Автори щиро вдячні канд. геол. наук А. В. Братішку (ЛНУ імені Тараса Шевченка, Полтава) за допомогу у вивченні розрізів Хорошилове і Сватове та студентам-географам цього ж університету за допомогу в зборі фактичного матеріалу з розрізів Осинове та Ікове. Дякуємо канд. геол. наук Т. В. Шевченко (ІГН НАН України, Київ) за допомогу в роботі з літературою та численні консультації. Велику подяку також висловлюємо анонімним рецензентам, які допомогли покращити якість цієї статті.

Дослідження В. Дернова проведено в рамках виконання наукової теми Інституту геологічних наук НАН України «Стратегічна мінеральна сировина для відновлення економіки України: аналіз ресурсів та запасів, розробка критеріїв пошуку для нарощування їх мінерально-сировинної бази» (державний реєстраційний номер роботи_0123U100855).

References

Ailer, R. 1982. Silica chemistry. Mir, Moscow, 1–712. [In Russian]

Alpert, S. P. 1974. Systematic review of the genus *Skolithos*. *Journal of Paleontology*, **48** (4): 661–669.

Arapov, O. A., T. B. Sova, O. A. Savenko, V. B. Ferents, N. U. Kravets, L. L. Zyatkov, L. O. Morozova. 2013. *Nature Reserve Fund of Luhansk Region*. Luhansk, 1–224. [In Ukrainian]

Azizi, A., O. Vinn, K. El Hariri, A. Hafida, K. Kouraiss. 2017. First description of *Skolithos* burrows from the Cambrian–Ordovician boundary interval of the Central Anti-Atlas, Morocco. *Estonian Journal of Earth Sciences*, **66** (3), 174–182. https://doi.org/10.3176/earth.2017.13

Baucon, A., F. Enrichetti, R. Cabella, G. Bavestrello, M. Bo, M. Toma, C. Neto de Carvalho, C. Carbone, A. Briguglio. 2023. Sabellid tubes from the deep shelf off Liguria (Italy): A modern analogue for distal *Skolithos* Ichnofacies? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **612** (111333). 16 p.

Belokrys, L. S. 1965. Stick-like coprolites. *Paleontological Journal*, **2**: 138–141. [In Russian]

Belokrys, L. S. 1968. On coprogenic rocks from the Upper Sarmatian of southern Ukraine. *Lithology and mineral resources*, **3**: 136–142. [In Russian]

Bilokrys, L. S. 1962. The first record of «rhizolites» in the Sarmatian of southern Ukraine. *Reports of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR*, **5**: 663–666. [In Ukrainian]

Blank, M. Ya., V. A. Zelinskaya. 1979. On the stratigraphy of the middle Eocene sediments of eastern Ukraine. *Tectonics and stratigraphy*, **17**: 61–68. [In Russian]

Borisyak, N. D. 1867. On the stratigraphic relations of soils in Kharkov and adjoining provinces. *Collection of materials relating to the geology of southern Russia. Book 1*. Kharkov, 1–186. [In Russian]

Borges, L. M., L. M. Merckelbach, H. Sampaio, S. M. Cragg. 2014. Diversity, environmental requirements, and biogeography of bivalve wood-borers (Teredinidae) in European coastal waters. *Frontiers in Zoology*, **11** (1), 1–13. https://doi.org/10.1186/1742-9994-11-13

Bowles, M. W., J. M. Mogollyn, S. Kasten, M. Zabel, K.-U. Hinrichs. 2014. Global rates of marine sulfate reduction and implications for sub–sea-floor metabolic activities. *Science*, **344**: 889–891. https://doi.org/10.1126/science.1249213

Bratishko, A. V. 2011. Otoliths and fish teeth from the Paleogene of Ukraine. Author's abstract of the thesis for the degree of Candidate of Geological Sciences. Kyiv, 1–24. [In Ukrainian]

Bromley, R. G. 1992. Bioerosion: eating rocks for fun and profit. In: Maples, C. G., R. R. West (Eds.). *Trace Fossils. Short Course in Paleontology*, **5**: 121–129.

Bromley, R. G. 2004. A stratigraphy of marine bioerosion. In: McIlroy, D. (Ed.). *The application of ichnology to palaeoenvironmental and stratigraphic analysis. Geological society special publication*, **228**: 455–479.

Bromley, R. G., U. Asgaard. 1993. Two bioerosion ichnofacies produced by early and late burial associated with sea-level change. *Geologische Rundschau*, **82**: 276–280. https://doi.org/10.1007/BF00191833
Bromley, R. G., A. D'Alessandro. 1987. Bioerosion of the Plio-Pleistocene transgression of southern Italy. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, **93**: 379–422.
Bromley, R. G., G. Pemberton, R. A. Rahmani. 1984. A Cretaceous woodground: the Teredolites ichnofacies. *Journal of Paleontology*, **58** (2): 488–498.
Bromley, R. G., A. Uchman, J. Milan, K. Hansen. 2009. Rheotactic *Macaronichnus*, and human and cattle trackways in Holocene beachrock, Greece: reconstruction of paleoshoreline orientation. *Ichnos,* **16** (1–2): 103–117. https://doi.org/10.1080/10420940802470987
Buntin, R. C. C., S. T. Hasiotis, P. P. Flaig. 2022. Evaluating the ichnofossil *Teredolites* as an indicator of salinity and paleoenvironment. *Palaios*, **37**: 53–72. http://dx.doi.org/10.2110/palo.2020.074
Buurman, P. 1972. Mineralization of fossil wood. *Scripta Geologica*, **12**: 1–43.
Chernyshev, B. I. 1949. Subclass Malacostraca. Order Decapoda. In: Ryabinin, A. N., I. A. Korobkov (Eds). *Atlas of index forms of fossil fauna of the USSR. Vol. 12. Paleogene*. Moscow: State Geological Publishing House, 289–294. [In Russian]
Clifton, H. E., J. K. Thompson. 1978. *Macaronichnus segregatis*: a feeding structure of shallow marine polychaetes. *Journal of Sedimentary Research*, **48**: 1293–1302. https://doi.org/10.1306/212F7667-2B24-11D7-8648000102C1865D
Collinson, J. W., D. C. Pennington, N. R. Kemp. 1986. Stratigraphy and petrology of Permian and Triassic fluvial deposits in northern Victoria Land, Antarctica. *Geological Investigations in Northern Victoria Land, Antarctic Research Series,* **46**: 211–242. https://doi.org/10.1002/9781118664957.ch9
Crimes, T. P., Germs, G. J. B. 1982. Trace fossils from the Nama Group (Precambrian–Cambrian) of southwest Africa (Namibia). *Journal of Paleontology*, **56** (103435): 890–907. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103435
Cummings, J. P., Hodgson, D. M. 2010. An agrichnial feeding strategy for deep-marine Paleogene *Ophiomorpha* group trace fossils. *Palaios*, **26** (4): 212–224.
Dafoe, L. T., M. K. Gingras, S. G. Pemberton. 2008. Determinating *Euzonus mucronata* burrowing rates with application to ancient *Macaronichnus segregatis* tracemakers. *Ichnos,* **15** (2): 78–90. https://doi.org/10.1080/10420940802016475
Danilov, I. G., E. A. Zvonok, E. V. Syromyatnikova, N. I. Udovichenko. 2011. A new species of soft-shelled turtle (Trionychidae) from the Middle Eocene of Ukraine. *Proceedings of the Zoological Institute RAS*, **315** (4): 399–411. https://doi.org/10.31610/trudyzin/2011.315.4.399
de Gibert, J. M., R. G. Netto, F. M. W. Tognoli, M. E. Grangeiro. 2006. Commensal worm traces and possible juvenile thalassinidean burrows associated with *Ophiomorpha nodosa*, Pleistocene, southern Brazil. *Palaeogeography, Palaeoeclimatology, Palaeoecology*, **230** (1–2), 70–84. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2005.07.008
Demircan, H. 2012. Determination of a Late Miocene rocky palaeoshore by bioerosion trace fossils from the Bozcaada Island, Çanakkale, Turkey. *Comptes Rendus Palevol*, **11** (5): 331–344. https://doi.org/10.1016/j.crpv.2011.11.002
Dernov, V. S., M. I. Udovychenko. 2016. Some Paleogene nautiloids of the Donets Basin and Crimea. *Paleontological Collection*, **48**: 19–27. [In Ukrainian]
Donovan, S. K. 2002. A new ichnospecies of *Gastrochaenolites* Leymerie from the Pleistocene Port Morant Formation of southeast Jamaica and the taphonomy of calcareous linings in clavate borings. *Ichnos,* **9**: 61–66. https://doi.org/10.1080/10420940190034085
Donovan, S. K. 2011. The recent boring *Gastrochaenolites ornatus* Kelly & Bromley, 1984, in a chalk cobble from Cromer, England. *Bulletin of the Mizunami Fossil Museum*, **37**: 185–188.
Donovan, S. K. 2017. A new ichnogenus for *Teredolites longissimus* Kelly and Bromley. *Swiss Journal of Palaeontology*, **137**: 95–98. https://doi.org/10.1007/s13358-017-0142-9
Droser, M. L. 1991. Ichnofabric of the Paleozoic Skolithos Ichnofacies and the nature and distribution of Skolithos Piperock. *Palaios*, **6** (3): 316–325. https://doi.org/10.2307/3514911
Edinger, E. N., M. J. Risk. 1994. Oligocene–Miocene extinction and geographic restriction of Caribbean corals: roles of turbidity, temperature, and nutrients. *Palaios,* **9** (6): 576–598. https://doi.org/10.2307/3515129
Eichwald, E. 1865–1868. Lethaea Rossica ou Paléontologie de la Russie. Periode moyenne. Deux sections. Stuttgart, 1–1304.
Ekdale, A. A., R. G. Bromley. 2001. Bioerosional innovation for living in carbonate hardgrounds in the early Ordovician of Sweden. *Lethaia*, **34**: 1–12. https://doi.org/10.1080/002411601300068152
Evans, S. 1999. Wood-boring bivalves and boring linings. *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, **45**: 130–134.
Frey, R. W., J. D. Howard, W. A. Pryor. 1978. *Ophiomorpha*: its morphologic, taxonomic, and environmental significance. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **23**: 199–229.
Furlong, C. M., M. K. Gingras, J.-P. Zonneveld. 2015. *Trypanites*-type ichnofacies at the Bay of Fundy, Nova Scotia, Canada. *Palaios*, **30** (4): 258–271. https://doi.org/10.2110/palo.2014.056
Fürsich, F. T. 1973. A revision of the trace fossils *Spongeliomorpha, Ophiomorpha* and *Thalassinoides*. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, **12**: 719–735.

Gihgras, M. W., J. A. MacEarchern, R. K. Pickerill. 2004. Modern perspectives on the Teredolites ichnofacies: Observations from Willapa Bay, Washington. *Palaios*, **19**: 79–88. https://doi.org/10.1669/0883-1351(2004)019<0079:MPOTTI>2.0.CO;2

Gregory, M. R., K. A. Campbell, R. Zuraida, A. J. Martin. 2006. Plant traces resembling *Skolithos. Ichnos*, **13** (4), 205–216. https://doi.org/10.1080/10420940600843617

Grygorovich-Berezovsky, N. A. 1903. On the study of Paleogene fauna of the Donets Basin. Materials on the geology and mineral resources, **1**: 1–20. [In Russian]

Hall, J. 1843. Geology of New York. Part IV. Survey of the Fourth Geological District. Albany: Carroll and Cook, 1–683.

Haldeman, S. S. 1840. Supplement to Number One of «A monograph of the Limniades, or freshwater univalve shells of North America» containing descriptions of apparently new animals in different classes, and the names and characters of the subgenera in in *Paludina* and *Anculosa*. Philadelphia, 1–3.

Howell, B. F. 1944. A new *Skolithos* from the Cambrian Hardyston Formation of Pennsylvania. *Wagner Free Institute of Science Bulletin*, **19**: 41–44.

Howell, B. F. 1957. *Stipsellus annulatus*, a *Skolithos*-like Cambrian fossil from Arizona. *Wagner Free Institute of Science Bulletin*, **32**, 17–20.

Ivanov, A. V. 2012. Paleoecological features of Cenozoic hydrotherms of Lower Volga Region. *Coevolution of geospheres: from Earth's inner core to Cosmos*. Saratov: Publishing house of SSTU, 269–272. [In Russian]

Ivanov, D. A., Bozukov, V. S. 2022. New data on the Middle Miocene flora of Northwest Bulgaria. *Phytologia Balcanica*, **28**: 147–156. https://doi.org/10.7546/PhB.28.2.2022.1

Kaptarenko-Chernousova, O. K., P. I. Lutskiy. 1963. Periphery of the Donets Basin. In: Syabryai, V. T. (Ed.). Stratigraphy of the Ukrainian SSR. Vol. 9. Paleogene. Kyiv: Publishing house of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, 122–137. [In Ukrainian]

Keij, A. J. 1965. Miocene trace fossils from Borneo. *Paläontologische Zeitschrift*, **39**, 220–228. https://doi.org/10.1007/BF02990166

Kelly, S. R. A., R. G. Bromley. 1984. Ichnological nomenclature of clavate borings. *Palaeontology*, **27**: 793–807.

Khizhnyakov, A. V. 1954. New vertebrate footprints in the lower Miocene of Precarpathia. *Geological Collection of the Lviv Geological Society*, **1**: 177–179. [In Russian]

Knaust, D., R. D. K. Thomas, A. Curran. 2018. *Skolithos linearis* Haldeman, 1840 at its early Cambrian type locality, Chickies Rock, Pennsylvania: analysis and designation of a neotype. *Earth-Science Reviews,* **185**: 15–31. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.05.009

Kleemann, K. 2009. *Gastrochaenolites hospitium* isp. nov., trace fossil by a coral-associated boring bivalve from the Eocene and Miocene of Austria. *Geologica Carpathica*, **60**: 339–342. https://doi.org/10.2478/v10096-009-0025-0

Klyushnikov, M. N. 1953. On the Lower Tertiary sediments of the northern margins of the Donets Ridge. *Geological Collection of Taras Shevchenko State University of Kyiv*, **4**: 15–35. [In Russian]

Klyushnikov, M. N. 1958. Paleogene deposits of the Dnipro-Donets Depression. In: Ershov, V. A., N. P. Semenenko (Eds). *Geology of the USSR. Vol. 5. Ukrainian SSR and Moldavian SSR. Part 1. Geological description of the the platform part*. Moscow, 642–658. [In Russian]

Klyushnikov, M. N. 1960. Faunistic complexes of Paleogene of Ukraine and their stratigraphic relationships. In: Yanshin, A. L., O. S., Vyalov, N. N., Dolgopolov, V. V., Menner (Eds). Paleogene deposits of the southern European part of the USSR. Moscow: Publishing House of Academy of Sciences of the USSR, 108–125. [In Russian]

Kosmachev, V. G. 1977. Deposits of ornamental opals in Ukraine. *Bulletin of the Kharkov University. Geology and geography of left bank Ukraine*, **162** (8): 10–13. [In Russian]

Kosmachev, V. G. 1981. On the opals from the Osynove deposit. *Bulletin of the Kharkov University. Geology and geography of left bank Ukraine*, **212** (12): 29–30. [In Russian]

Krasnov, A. N. 1911. Beginnings of Tertiary flora of Southern Russia. Kharkov: Pechatnik, 1–115. [In Russian]

Krendovsky, M. 1880. Description of mineralized wood collected predominantly in southern Russia. Vol. 1. Kharkov: University Printing House, 1–31. [In Russian]

Kříž, J., Mikulaš, R. 2006. Bivalve wood borings of the ichnogenus *Teredolites* Leymerie from the Bohemian Cretaceous Basin (Upper Cretaceous, Czech Republic). *Ichnos*, **13** (3): 159–174. https://doi.org/10.1080/10420940600851594

Książkiewicz, M. 1977. Trace fossils in the flysch of the Polish Carpathians. *Palaeontologica Polonica*, **36**: 1–208.

Kuechler, R. R., D. Birgel, S. Kiel, A. Freiwald, J. L. Goedert, V. Thiel, J. Peckmann. 2012. Miocene methane-derived carbonates from southwestern Washington, USA, and a model for silicification at seeps. *Lethaia*, **45**: 259–273. https://doi.org/10.1111/j.1502-3931.2011.00280.x

Kuzmin, I. T., E. A. Zvonok. 2021. Crocodylian assemblage from the middle Eocene Ikovo locality (Lugansk Province, Ukraine), with a discussion of the fossil record and geographic origins of crocodyliform fauna in the Paleogene of Europe. *Geobios*, **65**: 7–27. https://doi.org/10.1016/j.geobios.2021.02.002

Likharev, B. 1914. Geological surveys in Starobelsk Uyezd of Kharkov Province in 1913. Preliminary report. *Proceedings of the Geological Committee*, **33** (3): 241–272. [In Russian]

Likharev, B. K. 1917. On the delimitation of some stages of Lower Tertiary sediments in the Seversky Donets and Don river basins. *Proceedings of the Geological Committee*, **5–7**: 8–16. [In Russian]

Lucas, S. G. 2016. Two new, substrate-controlled nonmarine ichnofacies. *Ichnos*, **23** (3–4): 248–261. https://doi.org/10.1080/10420940.2016.1181066
Luhansk Oblast. Atlas. 2004. Kyiv, 1–32.
Lutskiy, P. I. 1963. Donets Basin. Paleogene System. In: Kuznetsov, I. A. (Ed.). *Geology of coal and oil shale deposits of the USSR. Vol. 1. Coal basins and deposits in the south of the European part of the USSR*. Moscow, 88–95. [In Russian]
Lutugin, L. 1897. Geological section near Krymskoye Village (Shestaya Rota), Slavyanoserbsk Uyezd, Yekaterinoslav Guberniya. *Proceedings of the Geological Committee*, **15**: 123–137. [In Russian]
Makarenko, D. E., V. A. Zelinskaya. 1982. Mollusks of the Middle Eocene of platform Ukraine. Kiev: Naukova Dumka, 1–168. [In Russian]
Makulbekov, N. M. 1977. Paleogene floras of the Western Kazakhstan and the Lower Volga Region. Alma-Ata: Nauka, 1–236. [In Russian]
Manley, K. 1991. Two techniques for measuring surface polish as applied to gastroliths. *Ichnos*, **1**: 313–316.
Matysová P., R. Rössler, J. Götze, J. Leichmann, G. Forbes, E. L. Taylor, J. Sakala, T. Grygar. 2010. Alluvial and volcanic pathways to silicified plant stems (Upper Carboniferous–Triassic) and their taphonomic and palaeoenvironmental meaning. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **292**: 127–143. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.03.036
Mayoral, E., A. Santos, J. A. G. Vintaned, M. Wisshak, C. Neumann, A. Uchman, A. Nel. 2020. Bivalve bioerosion in Cretaceous–Neogene amber around the globe, with implications for the ichnogenera *Teredolites* and *Apectoichnus*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **538** (109410). https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.109410
Mayr, G., L. Gorobets, E. Zvonok. 2013. The tarsometatarsus of the Middle Eocene loon *Colymbiculus udovichenkoi*. In: Gohlich, U. B., A. Kroh (Eds). *Proceedings of the 8th International Meeting of Society of Avian Paleontology and Evolution*. Wien: Verlag Naturhistorisches Museum, 17–22.
Mayr, G., E. Zvonok. 2011. Middle Eocene Pelagornitidae and Gaviiformes (Aves) from the Ukrainian Paratethys. *Palaeontology*, **54** (6): 1347–1359. https://doi.org/10.1111/j.1475-4983.2011.01109.x
McIlroy, D., Garton, M., 2010. Realistic interpretation of ichnofabrics and palaeoecology of the pipe-rock biotope. *Lethaia*, **43** (3): 420–426. https://doi.org/10.1111/j.1502-3931.2009.00199.x
McKoy, J. 1980. Distribution of shipworms (Bivalvia: Teredinidae) in the New Zealand region. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, **14** (3), 263–275. https://doi.org/10.1080/00288330.1980.9515869
Melnyk, S., S. Packer, J.-P. Zonneveld, M. K. Gingras. 2020. A new marine woodground ichnotaxon from the Lower Cretaceous Mannville Group, Saskatchewan, Canada. *Journal of Paleontology*, 95 (1): 162–169. https://doi.org/10.1017/jpa.2020.63
Merrill, R. D. 1984. *Ophiomorpha* and other nonmarine trace fossils from the Eocene Ione Formation, California. *Journal of Paleontology*, 58 (2): 542–549.
Mikuláš, R., A. Dronov. 2006. Paleoichnology—introduction to the study of trace fossil. Prague, 1–122. [In Russian]
Moroz, S. A. 1974. Stratigraphy of the lower Paleogene of the Donets Basin. *Geologičnij žurnal*, **5**: 97–104. [In Russian]
Moroz, S. A., E. B. Savron. 1975. Cenozoic seas of the Donets Basin. Kiev, Vyshcha Shkola, 1–200. [In Russian]
Murovcev, V. S. 1951. Stratigraphy and fauna of the Lower Eocene of the USSR (Kaniv Stage). Abstract of Dissertation. Leningrad, 1–17. [In Russian]
Nalivkin, D. V. 1969. Hurricanes, storms and tornadoes: Geographic features and geological activity. Leningrad: Nauka, 1–487. [In Russian]
Nara, M., K. Seike. 2019. Palaeoecology of *Macaronichnus segregatis degiberti*: Reconstructing the infaunal lives of the travisiid polychaetes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **516**: 284–294. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2018.12.011
Ochev, V. G., A. V. Ivanov, M. S. Arkhangelsky. 2004. Gastrolites of fossil animals. *Priroda*, **10**: 46–49. [In Russian]
Palibin, I. V. 1901. Some data on plant remains from the white sands and quartz sandstones in southern Russia. *Proceedings of the Geological Committee*, **20** (8): 447–506. [In Russian]
Palibin, I. V. 1908. Report on paleophytological research in south-eastern Russia in the summers of 1904 and 1905. *Materials on the geology of Russia*, **23**: 221–230. [In Russian]
Pedrol De Freitas, G., H. Francischini, F. Tapajós de Souza Tâmega, P. Spotorno, P. Dentzien-Dias. 2020. On ex situ *Ophiomorpha* and other burrow fragments from the Rio Grande do Sul Coastal Plain, Brazil: paleobiological and taphonomic remarks. *Journal of Paleontology*, **94** (6): 1148–1164. https://doi.org/10.1017/jpa.2020.29
Pemberton, S. G., J. A. MacEachern, K. L. Bann, M. K. Gingras. 2006. High-latitude versus low-latitude: Capturing the elusive signal using trace fossil suites from the ancient record. *American Association of Petroleum Geologists 2006 Annual Convention (Houston, Texas, 9–12 April 2006)*: 84.
Pervushov, E. M., A. V. Ivanov, V. B. Seltser. 2004. New data on representatives of marine and subcontinental biota of the late Mesozoic and Cenozoic of the South-East of the Middle Russian paleobiogeographical province. *Izvestiya Saratov University. Earth Sciences*, **4** (1–2): 28–36. [In Russian]

Philippe, M., S. McLoughlin, C. Strullu-Derrien, M. Bamford, S. Kiel, A. Nel, F. Thévenard. 2022. Life in the woods: Taphonomic evolution of a diverse saproxylic community within fossil woods from Upper Cretaceous submarine mass flow deposits (Mzamba Formation, southeast Africa). *Gondwana Research*, **109**: 113–133. https://doi.org/10.1016/j.gr.2022.04.008

Pickerill, R. K., S. K. Donovan, R. W. Portell. 2003. *Teredolites longissimus* Kelly & Bromley from the Miocene Grand Bay Formation of Carriacou, the Grenadines, Lesser Antilles. *Scripta Geologica*, **125**: 1–9.

Quiroz, L. I., L. A. Buatois, M. G. Mángano, C. A. Jaramillo, N. Santiago. 2010. Is the trace fossil *Macaronichnus segregatis* an indicator of temperate to cold waters? Exploring theparadox of its occurrence in tropical coasts. *Geology*, **38** (7): 651–654. https://doi.org/10.1130/G30140.1

Rindsberg, A. K. 2018. Ichnotaxonomy as a science. *Annales Societas Geologorum Poloniae*, **88**: 91–110. https://doi.org/10.14241/asgp.2018.012

Savrda, C. E. 1991. *Teredolites*, wood substrates, and sea-level dynamics. *Geology*, **19** (9): 905–908. https://doi.org/10.1130/0091-7613(1991)019<0905:TWSASL>2.3.CO;2

Savrda, C. E., J. Counts, O. McCormick, R. Urash, J. Williams. 2007. Log-grounds and *Teredolites* in transgressive deposits, Eocene Tallahatta Formation (Southern Alabama, USA). *Ichnos*, **12** (1): 47–57. https://doi.org/10.1080/10420940590914507

Savrda, C. E., D. T. King Jr. 1993. Log-ground and *Teredolites* lagerstätte in a transgressive sequence, Upper Cretaceous (Lower Campanian) Mooreville Chalk, central Alabama. *Ichnos*, **3** (1): 69–77. https://doi.org/10.1080/10420949309386374

Savrda, C. E., K. Ozalas, T. H. Demko, R. A. Huchison, T. D. Scheiwe. 1993. Log-grounds and the ichnofossil *Teredolites* in transgressive deposits of the Clayton Formation (Lower Paleocene), western Alabama. *Palaios*, **8** (4): 311–324. https://doi.org/10.2307/3515263

Savrda, C. E., Smith, M. W. 1996. Behavioral implications of branching and tube-lining in *Teredolites*. *Ichnos*, **4** (3): 191–198. https://doi.org/10.1080/10420949609380126

Schlirf, M. 2000. Upper Jurassic trace fossils from the Boulonnais (northern France). *Geologica et Paleontologica*, **34**: 145–213.

Schmeisser, R. L., T. P. Flood. 2008. Recognition of paleogastroliths from the Lower Cretaceous Cedar Mountain Formation, Utah using a Scanning Electron Microscope. *Ichnos*, **15** (2): 72–77. https://doi.org/10.1080/10420940801909118

Seilacher, A. 1967. Bathymetry of trace fossils. *Marine Geology*, **5** (5–6): 413–428. https://doi.org/10.1016/0025-3227(67)90051-5

Sokolov, N. A. 1903. Geological research along the railway line: Tikhoretskaya–Tsaritsyn and Likhaya–Krivaya Muzga. *Proceedings of the Geological Committee*, **22**: 1–52. [In Russian]

Stanislavskiy, F. A. 1956. On *Macclintockia* remains and the age of the Paleogene deposits in Ukrainian SSR. – Botanicheskiy Zhurnal, **41**: 1188–1193. [In Russian].

Strakhov, N. M. 1966. On some questions of silica geochemistry. In: Strakhov, N. M. (Ed.). *Geochemistry of Silica*. Moscow: Nauka, 5–8. [In Russian]

Stratigraphic ... 1993. *Stratigraphic Scheme of Phanerozoic Formations of Ukraine for New Generation Geological Maps*. Graphic applications. Kyiv. [In Russian]

Syabryai, V. T. 1963. Mineral resources. In: Syabryai, V. T. (Ed.). *Stratigraphy of the Ukrainian SSR. Vol. 9. Paleogene*. Publishing house of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, Kyiv, 252–268. [In Ukrainian]

Tchoumatchenco, P. A. Uchman. 2001. The oldest deep sea *Ophiomorpha* and *Scolicia* and associated trace fossils from the Upper Jurassic–Lower Cretaceous deep-water turbidite deposits of SW Bulgaria. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **169** (1–2): 85–99. https://doi.org/10.1016/S0031-0182(01)00218-8

Ter, P. C., J. St. J. S. Buckeridge. 2012. *Ophiomorpha beaumarisensis* isp. nov., a trace fossil from the late Neogene Beaumaris Sandstone is the burrow of a thalassinidean lobster. *Proceedings of the Royal Society of Victoria,* **124** (3): 223–231.

Tsekhovsky, Yu. G. 2017. Participation of volcanism and hydrotherms in platform sedimentation of Cretaceous-Paleogene boundary epoch of destructive tectogenesis in Central Eurasia. Article 1. Paleogeography, products of volcanism and hydrothermal activity. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological Series*, **92** (4): 34–48. [In Russian]

Turner, R. D. 1966. A survey and illustrated catalogue of the Teredinidae (Mollusca: Bivalvia). *Museum of Comparative Zoology.* Cambridge: Harvard University, 1–265.

Turner, R. D. 1973. Wood-boring bivalves, opportunistic species in the deep sea. *Science*, **180** (4093): 1377–1379. https://doi.org/10.1126/science.180.4093.1377

Turner, R. D., A. C. Johnson. 1971. Biology of marine wood-boring molluscs. In: Jones, E. B. G., S. K. Eltringham (Eds.). *Marine borers, fungi and fouling organisms of wood. Organisation for Economic Cooperation and Development*, 259–301.

Uchman, A. 2001. Eocene flysch trace fossils from the Hecho Group of the Pyrenees, northern Spain. *Beringeria*, **28**: 3–41.

Udovychenko N. I. 1997. On geological significance of redeposited shark teeth. *Biosphere and geological catastrophes*. Kyiv, 49. [In Russian]

Udovychenko, N. I. 2009. Ichthyofauna and age of Paleogene sands in the area of Osynovo Village (Luhansk Region). *Fossil fauna and flora of Ukraine: paleoecological and stratigraphic aspects. Collection of scientific works of Geological Institute of NAS of Ukraine*. Kyiv, 255–261. [In Russian]
Udovychenko, N. I. 2016. On some stratotypes of the pre-Kyiv Paleogene of the Donets Basin. *Materials of scientific and practical conference dedicated to V. P. Makridin's memory «Modern problems of geology» (Kharkiv, 27–28 May 2016)*. Kharkiv, 46–47. [In Russian]
Udovychenko, N. I. 2019. On the Rogove Beds of the Paleogene of the central Donets Basin. *Materials of the international scientific conference and 39th session of the Paleontological Society of NAS of Ukraine «Paleontological studies of the Don-Dnipro Trough» (Hradyzk, 14–16 May 2019)*. Kyiv, 61–62. [In Russian]
Udovychenko, M. I. 2021. On some shortcomings of the Stratigraphic scheme of the so called «pre-Kyiv» Paleogene of the central sector of the northern Donets Basin. *Abstracts of the scientific conference «Substantiation of the boundaries of stratigraphic units of the Phanerozoic of Ukraine for geological maps of the new generation» (Kyiv, 19 October 2021)*. Kyiv, 40–41. [In Ukrainian]
Udovychenko, M. I. 2022. On the two new localities of Paleogene elasmobranch teeth of the north of Luhansk Region. *Abstracts of the scientific conference «Actual issues of stratigraphy of sedimentary basins of Ukraine: new ideas and priority directions of research» (Kyiv, 28–29 September 2022)*. Kyiv, 44–45. [In Ukrainian]
Vikulin, S. V., D. V. Varenov, A. A. Konovalova. 2015. First record of the fern *Speirseopteris* (Thelypteridaceae) in the Paleocene of the Samara Region. *Phytodiversity of Eastern Europe*, **9** (3): 151–164. [In Russian]
Vikulin, S. V., V. P. Morov. 2016. *Chamaecyparis belgica*, a conifer from the Paleocene Volga-South Urals province of the Gelinden paleofloristic region. *Phytodiversity of Eastern Europe*, **10** (1): 78–96. [In Russian]
Vossler, S. M., S. G. Pemberton. 1988. *Skolithos* in the Upper Cretaceous Cardium Formation: an ichnofossil example of opportunistic ecology. *Lethaia*, **21** (4): 351–362. https://doi.org/10.1111/j.1502-3931.1988.tb01763.x
Vyalov, O. S. 1960. A new bird fossil track from the Miocene of Precarpathian. *Reports of the Academy of Sciences of the USSR,* **135** (5): 1237–1239. [In Russian]
Vyalov, O. S. 1964. On the origin of *Cylindrites tuberosus* Eichwald from the Paleogene of Aral Sea Region. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological Series*, **39** (1): 163–167. [In Russian]
Vyalov, O. S. 1966. Trace fossils and their paleontological significance. Kiev: Naukova Dumka, 1–164. [In Russian]
Vyalov, O. S. 1989. Paleoichnologic etudes. *Paleontological Collection*, **26**: 72–78. [In Russian]
Vyalov, O. S., V. A. Goretsky. 1964. On the Miocene *Rhizocorallium* of the Podillya Plate. *Geology and oil potential of the Volhyn-Podillya periphery of the Russian Platform*. Leningrad: Naukova Dumka, 135–141. [In Russian]
Vyalov, O. S., K. K. Flerov. 1952. Fossil tracks of vertebrates from Tertiary deposits of Precarpathia. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological Series*, **28** (5): 80–88. [In Russian]
Vyalov, O. S., K. K. Flerov. 1953. New reports on vertebrate footprints in the Dobrotovian Members of the Precarpathia. *Reports of the Academy of Sciences of the USSR,* **90** (3): 465–467. [In Russian]
Vyalov, O. S., K. K. Flerov. 1954. New finds of vertebrate footprints in the Miocene of Precarpathia. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological Series*, **59** (2): 103–104. [In Russian]
Vyalov, O. S., L. A., Nessov. 1974. Post-mortem injuries of the shells of some Early Cretaceous turtles by bone damaging organisms. *Paleontologicheskiy Sbornik*, **11**: 99–103. [In Russian]
Wetzel, A., I. Blechschmidt, A. Uchman, A. Matter. 2007. A highly diverse ichnofauna in Late Triassic deep-sea fan deposits of Oman. *Palaios*, **22** (5): 567–576. https://doi.org/10.2110/palo.2006.p06-098r
Wilson, J. L. 1980. Carbonate facies in geological history. Moscow: Nedra, 1–463. [In Russian]
Wilson, M. A., T. J. Palmer. 1998. The earliest *Gastrochaenolites* (early Pennsylvanian, Arkansas, USA): an Upper Paleozoic bivalve boring? *Journal of Paleontology*, **72** (4): 769–772.
Wings, O. 2007. A review of gastrolith function with implications for fossil vertebrates and a revised classification. *Acta Palaeontologica Polonica,* **52** (1): 1–16.
Wings, O. 2012. Gastroliths in coprolites – a call to search! In: Hunt, A., J. Milàn, S. G. Lucas, J. A. Spielmann (Eds). *Vertebrate Coprolites. New Mexico Museum of Natural History and Science*, **57**: 73–77.
Zelinskaya, V. A. 1983. On the Buchak Formation, its mollusks and the middle Eocene of Ukraine. *Fossil fauna and flora of Ukraine*. Kyiv: Naukova Dumka, 54–59. [In Russian]
Zosimovich, V. Yu., T. V. Shevchenko. 2015. Paleogene deposits of the Northern Ukraine paleosedimentary province. *Collection of scientific works of the IGS NAS of Ukraine*, **8**: 68–121. [In Ukrainian] https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2015.146712
Zubkovich, M. E. 1985. Buchakian mollusk assemblage of Sivers'kyi Donets River Basin. *Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR*, **1**: 125–127. [In Russian]
Zvonok, E., M. Udovychenko, A. Bratishko. 2012. The locality of Eocene vertebrates Ikove (Luhansk Region, Ukraine): ecologo-taphonomic analysis. *Paleontological Collection*, **44**: 113–128. [In Ukrainian]

GEO&BIO

2023 • vol. 24, pp 141–158
https://doi.org/10.53452/gb2409

Growth duration, life history and ecological traits of bony-toothed birds (Odontopterygiformes): implications from bone histology

Stanislav Dobrovolsky, Leonid Gorobets

National Museum of Natural History, NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

article info

key words

Odontopterygiformes, Pelagornithidae, osteohistology, growth, feeding

correspondence to

Stanislav Dobrovolsky; National Museum of Natural History, NAS of Ukraine, 15 Bohdan Khmelnitsky Street, Kyiv, 01030 Ukraine;
Email: stas000@gmail.com;
orcid: 0000-0002-4861-6408

article history

Submitted: 08.06.2023. Revised: 30.06.2023. Accepted: 30.06.2023.

cite as

Dobrovolsky, S., L. Gorobets. 2023. Growth duration, life history and ecological traits of bony-toothed birds (Odontopterygiformes): implications from bone histology. *GEO&BIO*, **24**: 141–158. [In English, with Ukrainian summary]

abstract

Bony-toothed birds (Odontopterygiformes), an order of seabirds that existed throughout most of the Cenozoic, had unusually fragile, thin-walled bones. This complicates their study and draws attention to microscopic methods, which are applicable even to fragmentary remains. The histological structure of long bones of the limbs of two species from the lower Lutetian locality Ikove (Luhansk Oblast, Ukraine) was studied: *Lutetodontopteryx tethyensis* and cf. *Dasornis* sp., representing the two main clades of the order. The well-preserved microstructure of the bones sheds light on the growth pattern of these birds, which turned out to be similar to that of recent Neognathae: with rapid and typically sharply terminated bone growth. This resulted in the apposition of azonal woven-parallel tissue, covered with outer and inner circumferential layers (OCL and ICL), usually sharply delimited from it. Like in other birds, osteohistological features allow to distinguish gross developmental stages of the animals (juveniles, young adults, and older adults) and provide hints about events of their life history, such as egg-laying or moulting, which enhance the development of resorption cavities and, probably, secondary osteons. The humeri of *L. tethyensis* show a structure of the outer cortex unusual for birds, which indicates a less abrupt than usual growth cessation. Age determination from the sublayers in the inner circumferential layer (a method which works in some species of recent birds but not in other) proved impossible for *L. tethyensis*; for cf. *Dasornis* sp. the question remains open. The duration of the growth in the studied species cannot currently be determined precisely, but can be estimated at 10^2 days, probably (in contrast to previous inferences) less than one year. A relatively short development supports the hypothesis about Odontopterygiformes being specialised consumers of squid, based on the morphology of the pseudoteeth. Eating squid can be an explanation of the observed osteohistological features, which could be caused by calcium deficiency.

© 2023 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.

Тривалість росту, онтогенетичні події та екологічні особливості псевдозубих птахів (Odontopterygiformes): дані гістології кісток

Станіслав Добровольський, Леонід Горобець

Резюме. Псевдозубі птахи (Odontopterygiformes) — ряд морських птахів, що існували впродовж більшої частини кайнозою – вирізнялися крихкими тонкостінними кістками, що ускладнює їхнє дослідження і привертає увагу до мікроскопічних методів, застосовних навіть до фрагментарних решток. Було досліджено гістологічну будову довгих кісток кінцівок двох видів із нижньолютетського місцезнаходження Ікове (Луганська область): *Lutetodontopteryx tethyensis* та cf. *Dasornis* sp., що представляють обидві основні клади ряду. Добре збережена мікроструктура кісток проливає світло на характер росту цих птахів, який виявився подібним до такого у сучасних Neognathae: із швидким наростанням кісток та, як правило, досить різким його припиненням. Це призводило до відкладення багатої на судини грубоволокнисто-паралельної тканини без ростових шарів, вкритої зовнішнім та внутрішнім окружними шарами (OCL та ICL), зазвичай чітко від неї відмежованими. Як і в інших птахів, остеогістологічні ознаки дозволяють розрізнити основні вікові стадії (ювенільні, молоді дорослі, старші дорослі особини) і зберігають сліди онтогенетичних подій, таких як відкладання яєць або линяння, які призводять до посиленого розвитку резорбційних порожнин та, ймовірно, вторинних остеонів. У плечових кістках *L. tethyensis* спостерігається нетипова для птахів гістологічна будова зовнішнього кортексу, яка свідчить про менш різке, ніж зазвичай, припинення росту. Визначення віку за прошарками у внутрішньому окружному шарі (метод, що у сучасних птахів придатний для одних видів і непридатний для інших) для *L. tethyensis* виявилося неможливим; для cf. *Dasornis* sp. питання залишається відкритим. Тривалість розвитку в досліджених видів зараз неможливо визначити точно, але можна оцінити в 10^2 днів, ймовірно (на відміну від попередніх припущень) менше одного року. Відносно короткий період розвитку дає підстави розглядати гіпотезу про спеціалізацію Odontopterygiformes на споживанні кальмарів, що узгоджується з попередніми припущеннями, заснованими на морфології псевдозубів. Живлення кальмарами може бути поясненням виявлених у кістках гістологічних структур, що могли бути спричинені дефіцитом кальцію.

Ключові слова: Псевдозубі, остеогістологія, ріст, живлення.

Адреса для зв'язку: Станіслав Добровольський; Національний науково-природничий музей НАН України, вул. Богдана Хмельницького 15, Київ, 01030 Україна; Email: stas000@gmail.com; orcid: 0000-0002-4861-6408

Introduction

Bony-toothed birds (Odontopterygiformes) are known from most of the Cenozoic (from the early Paleocene to late Pliocene or early Pleistocene) and from all continents [Mayr *et al.* 2019; Kloess *et al.* 2020]. Their phylogenetic affinities are unclear. In the latest analysis, they make up a polytomy with Galloanseres and Neoaves [Mayr *et al.* 2019]. Some morphological features suggest that Odontopterygiformes can be a sister group or subgroup of Galloanseres [Mayr 2009; Mayr 2011; Zelenkov & Kurochkin 2015; Mayr 2017].

In the early Eocene, Odontopterygiformes were one of the most widespread and abundant groups of seabirds [Mlíkovský 2009; Zelenkov & Kurochkin 2015]. Being specialised for soaring lifestyle and having large body size [Mayr 2017; Mayr *et al.* 2019], they are considered as morphological and ecological analogues of extant albatrosses [Bourdon 2011; Louchart *et al.* 2018], but, at the same time, they possessed unique features, the most prominent of which are bony pseudoteeth. The way of life, feeding, and individual development of Odontopterygiformes are known insufficiently, partly because of the fragility of their thin-walled bones. It draws attention to histological methods, which are applicable even to fragmentary material and can substantially improve our understanding of the biology of extinct vertebrates.

Bone histology is considered the best instrument to elucidate growth rates of extinct vertebrates [Bailleul *et al.* 2019; Prondvai *et al.* 2019]. In addition, bone microstructure preserves traces of many life history events, such as egg-laying, environmental influences, diseases, and others [Chinsamy 1997; Padian 2013], although these traces are often difficult to disentangle and decipher [Pratt *et al.* 2018].

In many animals, including early and some recent birds, bones contain annual marks, sometimes enabling quite precise age determination, albeit this method has certain difficulties [Schucht *et al.* 2021]. If such marks are absent, only tentative age estimates are possible [Erickson 2005; D'Emic & Benson 2013]. They are based mainly on the relationship between the apposition rate of primary periosteal bone tissue and its microstructure, known as Amprino's rule: broad categories of bone tissue types (woven-parallel, parallel-fibered, and lamellar tissue) correspond to certain, notably different (although partly overlapping) ranges of apposition rate [de Buffrénil *et al.* 2021].

This rule allows only for rough conclusions about the apposition rate: for any given type of bone tissue, this rate strongly varies between skeletal elements and between taxa, sometimes by an order of magnitude. It is generally higher in larger animals [Cubo *et al.* 2012; Padian & Woodward 2021] and larger bones [Castanet *et al.* 2000]. Its dependence on individual age and environmental conditions (e.g. food availability) also exists [Starck & Chinsamy 2002; Cubo *et al.* 2012]. In recent birds, bone apposition rate depends mostly on body size and developmental mode: precocial or altricial [Cubo *et al.* 2012]. Intraspecific variation also can be considerable [de Margerie *et al.* 2004]. Nevertheless, Amprino's rule holds true [Castanet *et al.* 2000; de Margerie *et al.* 2002; Curry Rogers & Erickson 2005] and can help reduce uncertainty in estimates of developmental and metabolic rates of extinct vertebrates [de Ricqlès *et al.* 2003; Curry Rogers & Erickson 2005; de Buffrénil *et al.* 2021].

Growth rates of extinct birds were remarkably diverse, although recent ones, with a few exceptions, grow extremely fast [Prondvai *et al.* 2019; Atterholt & Woodward 2021]. This ability probably evolved several times among Aves and possibly even within Ornithuromorpha during the Cretaceous [Atterholt *et al.* 2021]. The studied Mesozoic crown-group birds (*Vegavis* Clarke *et al.*, 2005) and their close relatives (*Ichthyornis* Marsh, 1872, *Hesperornis* Marsh, 1872 and *Iteravis* Zhou *et al.*, 2014), based on bone microstructure, had similarly rapid and uninterrupted growth [Chinsamy *et al.* 1998; Wilson & Chin 2014; O'Connor *et al.* 2015; Marsà *et al.* 2017], whereas more basal *Patagopteryx* Alvarenga & Bonaparte, 1992, *Vorona* Forster *et al.*, 1996, *Archaeorhynchus* Zhou & Zhang, 2006 and Enantiornithes grew substantially slower: during several years in the case of most Enantiornithes [Chinsamy *et al.* 1995; Starck & Chinsamy 2002; Wang *et al.* 2017; Atterholt *et al.* 2021]. The more basal *Confuciusornis* Hou *et al.*, 1995 was fast-growing again [de Ricqlès *et al.* 2003], and the even more basal *Jeholornis* Zhou & Zhang, 2002 and *Archaeopteryx* Meyer, 1861 were still slow-growing [Padian & Woodward 2021]. Non-avian theropods had a fast-growing bone tissue, but, due to larger body size, their growth typically lasted several years and was interrupted annually [Atterholt *et al.* 2021; Padian & Woodward 2021].

Most of crown-group birds reach adult size within one year, usually within a few weeks or months [Padian & Woodward 2021]. The exceptions are some non-flying, insular (i.e. lacking predation pressure), and/or large birds, such as *Genyornis* Stirling & Zietz, 1896 (Gastornithiformes), *Pezophaps* Strickland, 1848 (Columbiformes), *Apteryx* Shaw, 1813 (Apterygiformes), Aepyornithidae (Aepyornithiformes), and Dinornithiformes. Their bones contain lines of arrested growth (LAGs), which are interpreted as annual marks and indicate growth during several years [Bourdon *et al.* 2009; Chinsamy *et al.* 2020a; Chinsamy & Worthy 2021; Canoville *et al.* 2022]. However, flightlessness, insularity, and large size do not necessarily result in slow growth, as shown by *Raphus* Brisson, 1760 (Columbiformes) [Angst *et al.* 2017]. When did the ancestors of recent birds gain their modern growth pattern, it remains unclear. It could happen after [Canoville *et al.* 2022] or before [Padian & Woodward 2021] the appearance of Neornithes, possibly near the base of Ornithurae [Chinsamy 2002; Starck & Chinsamy 2002]. In any case, later some taxa lost this pattern again. Therefore, the growth pattern of extinct birds with no close recent relatives cannot be trivially inferred from their phylogenetic affinities (which are often uncertain themselves), flying ability, or any other features.

Bone growth rate is one of the factors limiting developmental rate of birds. This factor is expected to be especially strong in birds with relatively long wing bones, and this is supported by the example of albatrosses [Carrier & Auriemma 1992]. Therefore, the clarification of bone growth rates of

Odontopterygiformes is of great interest to shed light on their overall developmental rate. This can, in turn, imply consequences for other aspects of their biology, including ecology.

Materials and Methods

The examined bones (Table 1) were collected in 2013 by L. V. Gorobets and E. O. Zvonok in the lower Lutetian locality Ikove (Luhansk Oblast, Ukraine; described by Udovichenko [2009], Zvonok *et al*. [2012], and Dernov & Udovychenko [2023]) and identified by L. V. Gorobets.

Table 1. **The list of examined bones**
Таблиця 1. **Список досліджених кісток**

Taxon	Skeletal element		Collection number
Pelagornithidae cf. *Dasornis* sp.	femur	right	NMNHU-p Av-34
	humerus	right (?)	NMNHU-p Av-42
Lutetodontopteryx tethyensis Mayr & Zvonok, 2012	humerus	right	NMNHU-p Av-11
	femur	right	NMNHU-p Av-18
	tibiotarsus	left	NMNHU-p Av-19
?*Lutetodontopteryx tethyensis* Mayr & Zvonok, 2012	humerus	?	NMNHU-p Av-8
	femur	left	NMNHU-p Av-26

The species considered represent different clades with nearly family-level morphological differences (Zelenkov & Kurochkin 2015), although all Odontopterygiformes are now grouped into a single family Pelagornithidae [Mayr *et al*. 2019].

A general description of the histology of these bones, except for the specimen Av-8, is provided in [Dobrovolsky 2023*b*]. A complete set of micro- and macrophotographs of the bones is available on Figshare (https://doi.org/10.6084/m9.figshare.c.6415514), whereas the 3D models of the well-preserved bones on Sketchfab (https://sketchfab.com/scotoplanes/models). The present paper discusses the features that have immediate or potential implications for growth rate and life history.

The samples were taken from the bones near the broken end (approximately at the mid-diaphysis in most cases, except for Av-18 and Av-34, where it was located more proximally and distally respectively). Thin sections were prepared and photographed according to the technique described in [Dobrovolsky 2023*a*]. Their thickness is approximately 70 μm.

The diameter of primary osteons was measured in bones that have retained them. Usually, taking measurements of primary osteons is complicated by their poorly distinguishable borders. In the majority of bones they were measured on thin sections imaged in transmitted light equivalently to imaging between circular polarisers. In Av-42, primary osteons were poorly visible in these conditions and they were examined on a thick section in reflected light (Fig. 1*a*). The osteons and osteocyte lacunae were measured by simple self-made scripts on the basis of manual markings on the images.

Abbreviations. ICL, inner circumferential layer; OCL, outer circumferential layer; NMNHU, National Museum of Natural History, National Academy of Sciences of Ukraine.

Results

Woven-parallel tissue

The primary tissue (except OCL) in all the bones, where it has been preserved, is densely vascularised (with primary osteons formed around vascular canals) and contains numerous osteocyte lacunae. In the humeri of both species and in the tibiotarsus of *L. tethyensis* (Av-19), this tissue is represented by typical woven-parallel (also known as fibrolamellar [de Buffrénil & Quilhac 2021]) complex, although strongly different in the direction of vascular canals and bone fibres (Fig. 1). In one femur of *L. tethyensis* (Av-26), this direction is mostly circumferential, giving the impression of parallel-fibered bone (for instance, a very similar tissue of the mallard was interpreted in this way by de Margerie and colleagues [de Margerie *et al.* 2002: Fig. 1*c*], but the numerous primary osteons suggest the attribution to the woven-parallel complex. This is supported by the structure of the bone on the mediocaudal side, where the direction of the canals changes to longitudinal (Fig. 1*d*).

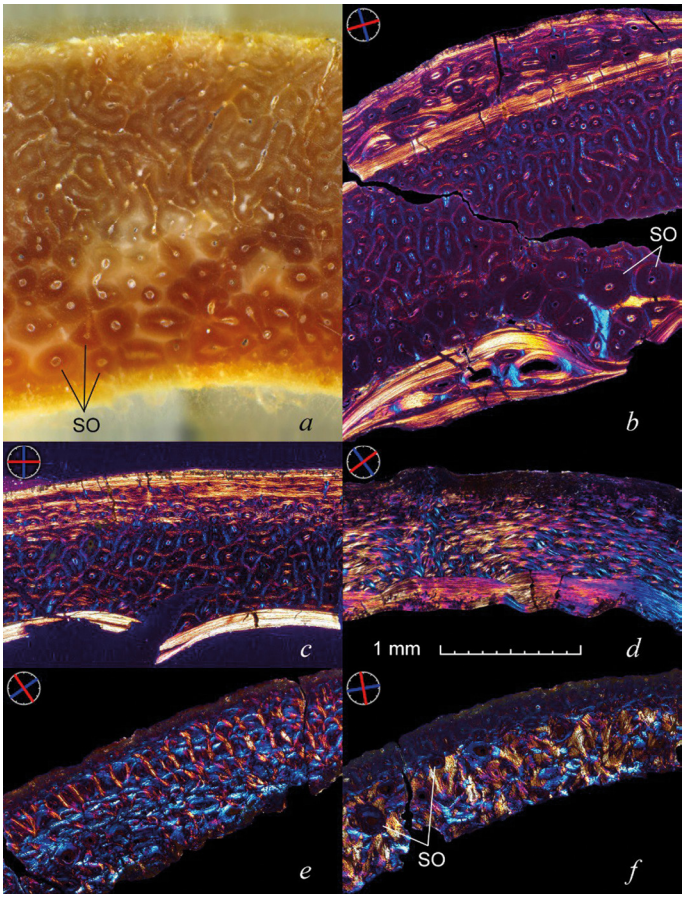


Fig. 1. The bones that have retained the woven-parallel (fibrolamellar) tissue. Transverse sections. Cf. *Dasornis*: (*a*) Av 42 (humerus), craniodorsal side. *L. tethyensis*: (*b*) Av 11 (humerus), cranial side; (*c*) Av 8 (humerus); cranial or caudal side; (*d*) Av 26 (femur), mediocaudal side; (*e*) Av 19 (tibiotarsus), cranial side; (*f*) Av 19 (tibiotarsus), caudal side. The periosteal surface of all bones is at the top; (*a*) polished (thick) section in reflected light; (*b–f*) thin sections in transmitted light, polarised light microscopy (the brightness is taken from an analogue of image between circular polarisers, and the colour from an image between crossed linear polarisers with full-wave plate). Red and blue lines in the circle indicate directions of bone fibres, highlighted in these colours. The scale bar is the same for each image. SO, secondary osteons.

Рис. 1. Кістки, що зберегли грубоволокнисто-паралельну (фіброламелярну) тканину. Поперечні зрізи. Cf. *Dasornis*: (*a*) Av 42 (плечова), краніодорсальний бік. *L. tethyensis:* (*b*) Av 11 (плечова), краніальний бік; (*c*) Av 8 (плечова), краніальний або каудальний бік; (*d*) Av 26 (стегнова), медіокаудальний бік; (*e*) Av 19 (тибіотарсус), краніальний бік; (*f*) Av 19 (тибіотарсус), каудальний бік. Періостальна поверхня всіх кісток — угорі; (*a*) аншліф у відбитому світлі; (*b–f*) шліфи у прохідному світлі, поляризаційна мікроскопія (яскравість взято з аналогів знімків між круговими поляризаторами, а колір — зі знімків між лінійними поляризаторами з повнохвильовою пластинкою). Червона та синя лінії в колі показують напрямок кісткових волокон, підсвічених у ці кольори. Масштаб скрізь однаковий. SO — вторинні остеони.

In the humeri (Av-8 and Av-11) and tibiotarsus (Av-19) of *L. tethyensis*, primary osteons become progressively smaller from inner to outer compacta. In Av-26, this is true for osteocyte lacunae, but not for the osteons or vascular canals.

The diameter of primary osteons is known to correlate with bone apposition rate and may potentially be of interest to skeletochronology [de Margerie *et al*. 2002; Lee *et al*. 2013]. So, it was measured in those bones where primary osteons are preserved. In the bones where they noticeably diminish towards the outer surface, the inner and outer regions of the compacta were examined separately (Table 2).

Table 2. Mean diameter of primary osteons in the examined bones

Таблиця 2. Середній діаметр первинних остеонів у досліджених кістках

Specimen	Number of measured osteons	Mean diameter of osteons, μm	Standard deviation, μm
Av-8 (0.0–0.4 mm under the outer surface)	83	70	16
Av-8 (0.4–1.0 mm under the outer surface)	137	112	19
Av-11 (0.0–0.3 mm under OCL)	30	80	18
Av-11 (0.3–1.0 mm under OCL)	45	120	23
Av-19 (0.0–0.2 mm under the outer surface)	45	87	15
Av-19 (0.2–1.0 mm under the outer surface	210	100	22
Av-26	50	54	13
Av-42	50	130	20

In the woven-parallel tissue of Av-26 (the only examined femur that retained this tissue), several additional parameters, which can be related to growth rate, were measured in the way described by [Cubo *et al*. 2012]. These parameters are as follows: vascular density (105 canals/mm^2), the fractions of differently oriented vascular canals (circular: 0.66; oblique: 0.25; radial: 0.09), and the parameters of osteocyte lacunae, which turned out to be distinctly different in the inner and outer half of the primary cortex: density in a single plane (inner cortex: 0.0030 cells/μm^2; outer cortex: 0.0023 cells/μm^2), mean area of the projection onto the image plane (inner: 48 μm^2, SD = 15 μm^2; outer: 36 μm^2, SD = 11 μm^2), and mean ratio of the minor and the major axes (inner: 0.50, SD = 0.16; outer: 0.48, SD = 0.15).

In one femur of *L. tethyensis* (Av-18) and the femur of cf. *Dasornis* sp. (Av-34), no distinct woven-parallel tissue is observed due to Haversian remodelling (Fig. 2).

Circumferential layers

The majority of the bones possess inner and outer circumferential layers (ICL and OCL), also known as internal and external fundamental systems. The exceptions are Av-19, which has only minor remains of ICL and no OCL, and Av-26, which has a thick ICL and no or almost no OCL. When present, these layers are sharply delimited from the adjacent tissue, with a usually less than ~10 μm thick transition. The exception is Av-8 with smooth transition and intermingling of the woven-parallel tissue and OCL in some places (Fig. 1*c*). Another humerus of *L. tethyensis* (Av-11) bears an unusual deposition of bone tissue ('bulge') outwards of OCL (Fig. 1*b*). It is delimited by a LAG and differs from OCL in less ordered fibres and numerous secondary osteons.

ICL of Av-26 contains several regions with sharp change of direction of bone fibres, indicating alternating resorption and apposition (no less than 3 cycles; Fig. 1*d*). One similar feature is present in ICL of Av-34 (implying one cycle).

Secondary remodelling

The extent of Haversian remodelling in the bones varies greatly. It is absent in Av-8, only two small secondary osteons are seen in Av-26 in almost complete cross-section of the bone, the osteons in Av-19 are more numerous yet still rare, but they form dense Haversian bone in the inner layer of the compacta in Av-11 and Av-42 (Fig. 1 *a*, *b*; Fig. 4), whereas they replaced all the woven-parallel tissue in Av-18 and Av-34 (Fig. 2). In Av-19 and Av-34, most of the secondary osteons are immature (with wide vascular canals and without the characteristic inner lining that brightly shines under polarising

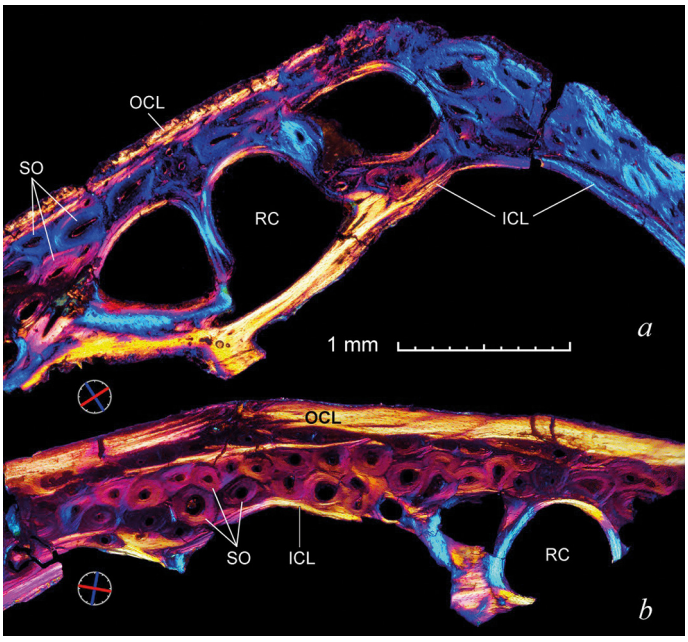


Fig. 2. Heavily remodelled specimens. Femora, transverse sections of cranial side; periosteal surface is at the top. (*a*) Av-18 (*L. tethyensis*); (*b*) Av-34 (cf. *Dasornis*). Polarised light microscopy (see the caption of Fig. 1). Large resorption cavities (RC) are seen. The tissue between the inner (ICL) and outer (OCL) circumferential layers is replaced by secondary osteons (SO).

Рис. 2. Сильно ремодельовані зразки. Стегнові кістки, поперечні зрізи краніального боку; періостальна поверхня — вгорі. (*a*) Av-18 (*L. tethyensis*); (*b*) Av-34 (cf. *Dasornis*). Поляризаційна мікроскопія (див. підпис до рис. 1). Видно великі резорбційні порожнини (RC). Тканина між внутрішнім (ICL) та зовнішнім (OCL) окружними шарами заміщена вторинними остеонами (SO).

microscope). The specimen Av-34 shows no less than two generations of secondary osteons. Some of them contain reversal lines, implying their resorption and refilling.

The most heavily remodelled bones (Av-18 and Av-34) show, in addition to secondary osteons, large erosion cavities, partially refilled with lamellar tissue (Fig. 2), sometimes referred to as 'endosteal osteons' [de Ricqlès *et al.* 2016]. The cavities visible in Av-18 are up to 0.7 mm wide (while the bone wall is 0.5–1.3 mm thick), and in Av-34, up to 0.2 mm wide (in 0.9 mm thick bone wall). In both bones, walls of the cavities are lined with ~0.06 mm thick parallel-fibered or lamellar tissue. In Av-34, the cavities partially destroy ICL, implying remodelling in adulthood. In Av-11, such cavities (up to 0.4 mm wide) are observed only inside ICL (Fig. 1*b*).

Growth marks

No growth marks clearly useful for skeletochronology are seen in the woven-parallel complex of the examined bones. Prominent dark and light lines, evidently isochrons, are present in the primary tissue of Av-8 (Fig. 3) and inside primary and secondary osteons of Av-11, but the circumstances and period of their formation are unknown, so they cannot be utilised. However, some layering is present in other bone structures. In particular, Av-11 contains several probable LAGs in the aforementioned 'bulge' outwards of OCL.

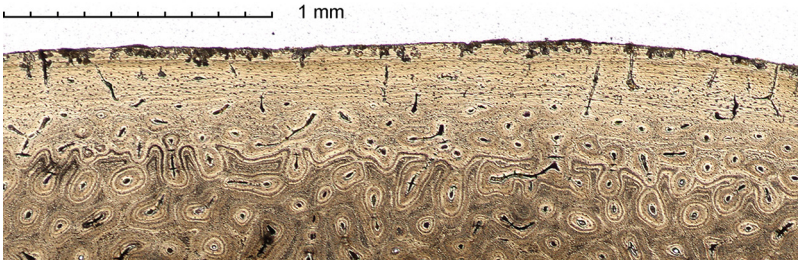


Fig. 3. Humerus of cf. *L. tethyensis* (Av-8), transverse section; periosteal surface is at the top. The meandering layers in the woven-parallel tissue mark former positions of the bone surface, including borders of the primary osteons.

Рис. 3. Плечова кістка cf. *L. tethyensis* (Av-8), поперечний зріз; періостеальна поверхня вгорі. Хвилясті прошарки у грубоволокнисто-паралельній тканині відмічають колишні положення поверхні кістки, зокрема межі первинних остеонів.

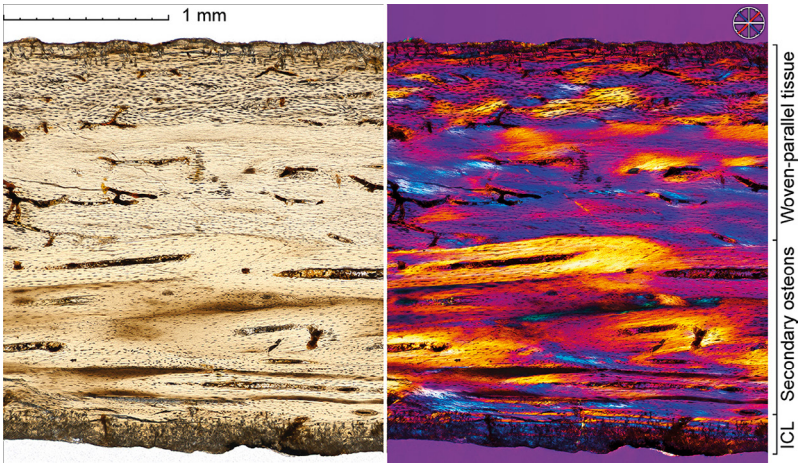


Fig. 4. Humerus of cf. *Dasornis* (Av-42), longitudinal section; the periosteal surface is at the top. Views in normal light and between crossed polarisers with full-wave plate. ICL (in the bottom) shows layers that differ in fibre direction and, consequently, in colour in the right image.

Рис. 4. Плечова кістка cf. *Dasornis* (Av-42), поздовжній зріз; періостеальна поверхня вгорі. Вигляд у звичайному світлі та між схрещеними поляризаторами з фазовою пластинкою. В ICL (унизу) видно прошарки, що відрізняються напрямком волокон і, як наслідок, кольором на правому знімку.

Fine layering is observed also in OCL and especially ICL, when they are present. The number of the layers depends on the way of counting: the pairs of adjacent bright and dark lines seen under polarising microscope are more numerous than the rows of osteocyte lacunae (used by Klomp & Furness [1992] and a number of subsequent authors, e.g. Broughton *et al.* [2002] and Drozdowska & Meissner [2014]). Additionally, the number of the layers in ICL (regardless of the way of counting) strongly varies along the circumference of the bone, at least partially due to endosteal resorption. In Av-8, about 5–10 rows of lacunae can be traced in ICL and 15–20 in OCL. Av-11 shows 7–10 rows of lacunae in OCL and a much higher and variable number (up to

several dozen) in ICL. In Av-18, the counting is difficult, but these numbers can be estimated at 5–10 in each layer. Av-26 has no or almost no OCL and a thick ICL with several dozen fine layers (in some places, no less than 30 and possibly even 40 rows of lacunae). Av-42 has poorly preserved ICL and OCL, which precludes counting of lacunae rows, but its ICL contains no less than 10 layers with different direction of bone fibres, judging from different colours between crossed polarisers with wave plate (best seen on the longitudinal section, Fig. 4).

Discussion

Ontogenetic stages

Bones of birds that have reached adult body size can be identified based on the presence of OCL [Wilson & Chin 2014]. Usually, its appearance approximately coincides with fledging, but can occur somewhat earlier [Atterholt & Woodward 2021]. In addition, the bones of skeletally mature birds have well-mineralised epiphyses. Less reliable indicators of skeletal maturity are well-developed ICL and extensive Haversian remodelling [de Ricqlès *et al*. 2003].

All of the described bones come from skeletally mature animals (according to the well-developed OCL), except for Av-26 and Av-19. Both of them have poorly mineralised epiphyses and neither have OCL. However, these bones also have reached an approximately adult size, according to their comparison with the type specimens [Mayr & Zvonok 2012] and the presence of well-developed ICL in Av-26 and incipient ICL plus pronounced diminishing of the primary osteons towards the periosteum in Av-19.

General growth pattern

The basic histological features of *Lutetodontopteryx tethyensis* and cf. *Dasornis* sp. are similar to those of recent Neognathae and imply a similar growth pattern. The woven-parallel (fibrolamellar) complex, observed in all of the examined bones except for heavily remodelled ones, is typically formed in juvenile tetrapods with high metabolic rates and medium or large body size [de Buffrénil & Quilhac 2021]. The humeri and tibiotarsus of *L. tethyensis* show the diminishing of primary osteons towards the outer surface, suggesting some decrease of apposition rate towards the end of rapid growth (the size of primary osteons is known to increase with apposition rate [de Margerie *et al*. 2002]). ICL and OCL of both species, consisting of lamellar or parallel-fibered tissue and sharply delimited from the underlying bone, imply abrupt termination of fast apposition and beginning of slow apposition (an exception is shown by the humeri of *L. tethyensis*, see 'Particular ontogenetic events' below). OCL and ICL are deposited an order of magnitude slower than the woven-parallel complex [de Margerie *et al*. 2002]. So, Odontopterygiformes share the bone growth pattern with recent and the majority of extinct Neognathae (as well as a number of Mesozoic taxa): until reaching adult size, the bone undergoes rapid periosteal growth and endosteal resorption, then these processes stop and are succeeded by much slower apposition on the outer and inner surfaces of the bone.

Growth marks

The absence of annual growth marks in the woven-parallel tissue of all the examined bones cannot completely rule out their presence in Odontopterygiformes, because most of this tissue in all the bones has been resorbed. However, the birds, which are known to grow for >1 year, retain growth marks (often numerous) even in adult bones because of the slowdown of apposition rate at the end of growth and, consequently, close spacing of these marks: hundreds or even tens of micrometres [Chinsamy 2002; Turvey *et al*. 2005; Bourdon *et al*. 2009; Chinsamy & Worthy 2021; Canoville *et al*. 2022]. Therefore, uninterrupted growth and reaching adult size within one year is more probable for Odontopterygiformes, especially given that it is observed in the majority of crown-group birds (almost all Neognathae and some Palaeognathae), including large albatrosses and (at least in the first approximation) ostrich and emu [Carrier & Auriemma 1992; Bourdon *et al.* 2009; Chinsamy & Worthy 2021; Padian & Woodward 2021; Canoville *et al*. 2022]. The same is probably true for a number of

extinct taxa closely related to Neornithes, whose woven-parallel complex also shows no growth marks [Chinsamy *et al.* 1998; Chinsamy 2002; Wilson & Chin 2014].

Layering in OCL and ICL and its potential value for skeletochronology have been studied in many bird species, because the possibilities to determine the age of birds are very limited in comparison with other vertebrates. The results turned out to be vastly different. Some authors reported that the lines in ICL [Klomp & Furness 1992] or OCL [Van Soest & Van Utrecht 1971] do correspond to years, at least in the majority of examined species. In other cases, ICL, OCL, or both were completely non-informative [Broughton *et al.* 2002; Drozdowska & Meissner 2014]. Some researchers report in OCL non-annual, but very similar lines accompanying annual ones [Klevezal 1972; Broughton *et al.* 2002]. In addition, the number of the lines can vary across the same bone [Lewis 1979]. Therefore, the number of the lines in ICL and OCL is not a reliable indicator of age, unless already tested on the same taxon [de Ricqlès *et al.* 2003; Drozdowska & Meissner 2014; Klevezal & Smirina 2016]. Sometimes annual layers in the bones can be discerned with the help of stable isotope studies [Woodward *et al.* 2013; Klevezal & Smirina 2016] and it is a promising direction for further research.

There is evidence that at least layers in ICL of the femur of *L. tethyensis* (Av-26) do not reflect annual cycles. There are no less than 30 (and possibly more) rows of lacunae in some places, and fine lamellations seen under a polarising microscope (counted as pairs of bright and dark lines) are even more numerous. If the bird really was ≥ 30 years old, it would have developed OCL (and probably more extensive secondary remodelling). Whether the other found types of layering (layers with different directions of bone fibres in ICL of Av-42 or LAGs in the 'bulge' outwards of OCL in Av-11) reflect annual cycles, remains unknown. If they do, these individuals of cf. *Dasornis* sp. and *L. tethyensis* are at least ~10 and at least ~5 years old, respectively.

Prominent growth marks in the primary tissue of Av-8 and in osteons of Av-11 reveal the course of bone apposition, but do not seem to carry usable skeletochronological information.

In regard to growth marks, it should be noted that the Eocene climate of modern eastern Ukraine had well-defined seasonality, as shown by annual rings in fossil wood recovered from Ikove. The fauna and flora of the locality suggest subtropical climate with an alternation of dry and wet seasons [Dernov & Udovichenko 2020]. It excludes the possibility that the bones did not form growth marks due to constant environmental conditions.

Bone apposition rate

In the absence of reliable growth marks, only rough estimates of the bone apposition rate are possible [Erickson 2005; D'Emic *et al.* 2013], but nevertheless they can reduce uncertainty on this issue [De Ricqlès *et al.* 2003; Curry Rogers & Erickson 2005; de Buffrénil *et al.* 2021].

The apposition rate in long bones has been studied in many bird species from all three major clades: Palaeognathae (*Dromaius novaehollandiae* [Castanet *et al.* 2000; Cubo *et al.* 2012; Kuehn *et al.* 2019], *Struthio camelus* [Castanet *et al.* 2000; Cubo *et al.* 2012]), Galloanseres (*Anas platyrhynchos* [de Margerie *et al.* 2002; Montes *et al.* 2007; Montes *et al.* 2010; Cubo *et al.* 2012], *Gallus gallus* [Montes *et al.* 2007; Montes *et al.* 2010], *Coturnix japonica* [Starck & Chinsamy 2002]), and Neoaves (*Streptopelia decaocto*, *Turdus merula* [Cubo *et al.* 2012], *Aptenodytes patagonicus* [de Margerie *et al.* 2004]). According to all these studies, the woven-parallel complex, which forms the bulk of the primary bone tissue in the majority of recent birds (as well as in Odontopterygiformes), is usually deposited with a rate of several dozen μm/day, but in some bones of some species this rate can exceed 100 μm/day (in the case of large birds, such as *S. camelus*, *D. novaehollandiae*, and *A. patagonicus*, but also in *S. decaocto*, *T. merula* and, very rarely, in *A. platyrhynchos*). The highest values were reported for the femur of *A. patagonicus* (171 μm/day, a climate adaptation [de Margerie *et al.* 2004]) and the humerus of *T. merula* (195±63 μm/day, possibly related to altriciality [Cubo *et al.* 2012]). However, even in species that occasionally show an apposition rate of >100 μm/day in some bones, the majority of long bones, in most cases, grow 2–3 times slower [de Buffrénil *et al.* 2021]. The rates <10 μm/day are also rare and mostly restricted to small bones (e.g. phalanges) and wing bones if they are not used for locomotion.

Subtypes of the woven-parallel tissue, differentiated by vascular orientation, have largely overlapping ranges of apposition rates and, accordingly, are not important for skeletochronology. The exception may be the tissue with radial canals, which is associated with the fastest apposition [de Margerie *et al.* 2004; Werning 2013; de Buffrénil *et al.* 2021], but it was not observed in substantial amounts in the Odontopterygiformes bones considered herein.

De Margerie *et al.* [2002] found a relatively close and roughly linear relationship between bone apposition rate and the diameter of primary osteons in the mallard (*Anas platyrhynchos*). If these parameters were similarly related in Odontopterygiformes, the bone apposition rate could be estimated at 20–60 μm/day for the femur of *L. tethyensis* Av-26 (see Table 2). The other examined bones have much larger primary osteons (falling outside the range of diameters observed by de Margerie *et al.* [2002], suggesting uncertain, but probably much higher apposition rate. This is consistent with the larger size of these bones. But it must be stressed that such inferences currently cannot be regarded as more or less reliable estimates: the relationship of the primary osteons diameter and bone apposition rate remains insufficiently studied to draw conclusions on fossil taxa [Lee *et al.* 2013], although this is a promising line of research [de Buffrénil *et al.* 2021].

Noteworthy is that the primary tissue of Av-26 is nearly identical in fibre pattern to the tissue of mallard with the apposition rate of 2–30 (in half of the cases, about 7–14) μm/day [de Margerie *et al.* 2002: Fig. 1*c*]. However, the apposition rate of the tissue with any given vascular or fibre pattern varies greatly depending on the taxon and other factors.

Cubo *et al.* [2012] in a study of 16 recent amniote species (including 5 birds) derived an equation to estimate the bone apposition rate for the femur based on the concentration of vascular canals and osteocyte lacunae, size and shape of the lacunae, and orientation of the canals. This equation explains 85% of the variance of bone apposition rate in the sample from which it was derived. The root-mean-square deviation of its predictions for this sample is 17 μm/day. Application of this equation to Av-26 (the only examined femur that preserved primary tissue) gives a rate of 91 μm/day for the inner half of the primary cortex and 55 μm/day for the outer half. These figures should not be considered even as approximate, but only as indicative. The equation itself contradicts some observations: positive correlation of the growth rate with vascular density [Klein & Sander 2008], with the proportion of radial canals [Werning 2013; de Buffrénil *et al.* 2021], and weak negative correlation with osteocyte volume [D'Emic & Benson 2013]. These contradictions are probably caused by the derivation of the equation from a small sample. Although this equation describes the sample on which it was obtained relatively well, it can be expected to perform worse on other samples. Moreover, tibiae and humeri from the same sample could not be described by well-performing equations [Cubo *et al.* 2012]. Nevertheless, such approach, if improved by a larger amount and a more precise quantification of the source data, is regarded as having considerable perspectives for palaeobiology [de Buffrénil *et al.* 2021].

In the femur of recent birds, the woven-parallel tissue is deposited with a rate of ~20–100 μm/day in most cases, sometimes over 100 μm/day, especially in species with large body size. For the tibiotarsus and humerus (excluding birds not using wings for locomotion), this rate has the same order of magnitude, although can be up to 2–3 times higher or lower than in the femur [de Margerie *et al.* 2002; Starck & Chinsamy 2002; de Ricqlès *et al.* 2003; Cubo *et al.* 2012; de Buffrénil *et al.* 2021; and others].

If the apposition rate in Av-26 constituted several dozen μm/day, the bone should have grown to its present radius (4 mm) in ~10^2 days, probably less than a year. Growth during one year would require an apposition rate of $\lessapprox$ 11 μm/day, which is unusually low for bird femora (although close to the apposition rate of a histologically similar tissue in the tibiotarsus of the mallard [de Margerie *et al.* 2002]). The other examined bones show even less clues to their apposition rate, apart from being composed of woven-parallel tissue. However, apposition rates of different skeletal elements of the same species must be related by a certain ratio to produce certain proportions of the adult skeleton. Therefore, the humeri had to grow several times faster than the femora (under the assumption of

simultaneous maturation, as in most birds [Yan & Zhang 2020]). In any case, even the largest of the studied bones, the humerus Av-42 (with a radius of ~15 mm), growing with a rate of several dozen μm/day, did not necessarily requires >1 year to reach the adult radius.

It should be noted that all the described bones of Odontopterygiformes are fully or almost fully grown and, due to resorption, can contain information only about the last stages of growth, when it is usually somewhat slower. In addition, the bone apposition begins not from zero radius, but from the radius of the embryonic bone. All this can cause overestimation of the growth duration. However, this inaccuracy is non-essential in comparison with the aforementioned uncertainties.

Some inferences regarding growth of Odontopterygiformes were made by Louchart *et al.* [2013, 2018] based on X-ray microtomography and thin sections of the pseudoteeth of *Pelagornis mauretanicus* (late Pliocene/early Pleistocene species with a wingspan of 4–5, possibly 6 metres). They concluded that the pseudoteeth probably began to grow only after the termination of jaw bone growth. The speed of the pseudoteeth growth was estimated to be moderate: primary bone tissue preserved near their tips is intermediate between parallel-fibered and woven-fibered tissues and, based on the measurements in *Anas platyrhynchos* by de Margerie *et al.* [2002], could grow with a rate of 10–30 μm/day, at least in the end of pseudoteeth development [Louchart *et al.* 2013]. In addition, if the pseudoteeth grew on their tips, the rhamphotheca that covered them could harden only after the termination of their growth, making the development of the bird quite long. However, Louchart *et al.* [2018] noted that structures similar to pseudoteeth can also develop in another (and faster) way, as evidenced by the spurs of recent birds, which are initially separated from the leg bone and develop hard keratinous sheaths even before bony cores. The growth history of pseudoteeth, like other avian bones, is obscured by extensive resorption and Haversian remodelling, reported by Louchart *et al.* [2013]. The issue might be clarified by X-ray microtomography of the pseudoteeth of juvenile birds.

The estimation of the development duration of *Pelagornis mauretanicus* based on comparison with recent albatrosses also gives a very long time span. If this species had the same ratio of fledging time and body size as the largest albatross *Diomedea exulans*, it could have fledged about 18 months after hatching [Louchart *et al.* 2018]. This implies high altriciality, which is not known in basal Neornithes [Louchart *et al.* 2013; Louchart *et al.* 2018], although prevails among seabirds [Masden *et al.* 2010].

Long growth time is expected even in smaller insular seabirds due to their protection from predators (which weakens the selection for fast development) and the possibility of long periods without food. This is strongly expressed in recent albatrosses. In addition, the rate of their development can be limited by bone growth rate: for instance, *Diomedea epomophora* with a 42 cm long humerus has an extremely long fledging period of 236 days [Carrier & Auriemma 1992]. Longer development time is a known tendency in insular birds in general. In addition to predation pressure, nutrition, and adult body size, growth rates of birds can be related to clutch size and several other factors [Sandvig *et al.* 2019; Sandvig *et al.* 2022].

Particular ontogenetic events

Heavy Haversian remodelling and large erosion cavities of Av-18 and Av-34 (femora of *L. tethyensis* and cf. *Dasornis* sp. respectively; Fig. 2) imply extensive resorption with subsequent reconstruction. The same, but to a lesser extent, applies to Av-11 (humerus of *L. tethyensis*; Fig. 1*b*). At least in Av-11 and Av-34, the resorption continued after the onset of skeletal maturity. At least in Av-34, it occurred in more than one episode.

Extensive and repeated bone resorption in birds can be caused by egg-laying. It is known to damage not only medullary, but also structural bone (at least in domestic hen), inducing dilation of the Haversian canals, development of larger resorption cavities, and destruction of cancellous bone [Wilson & Thorp 1998; Whitehead 2004; Alfonso-Carrillo *et al.* 2021; Benavides-Reyes *et al.* 2021; Yamada *et al.* 2021], especially under calcium or general food shortage [Newman & Leeson 1999; Zhao *et al.* 2020]. In mammals, erosion cavities are most commonly found in pregnant females [Chinsamy 1990]. So, reproduction has been employed for explanation of erosion cavities and other manifestations of extensive resorption in bird bones [de Ricqlès *et al.* 2016].

Another possible explanation is moulting, despite the near-absence of calcium in feathers. In many recent bird species, moulting induces temporary widening of vascular canals, sometimes to such extent that compact bone looks like cancellous one [Meister 1951]. Therefore, moulting has also been employed for the explanation of the cavities [Dabee 2013; Angst *et al*. 2017], porosity [Cerda *et al*. 2014], and Haversian remodelling [Chinsamy *et al*. 2020b; Monfroy & Kundrát 2021] in fossil and recent bird bones.

On the other hand, both erosion cavities and Haversian remodelling are present not only in birds and, consequently, can have other causes than egg-laying and moulting. In mammals, the cavities are observed not only in pregnant females, but also in other individuals [Chinsamy 1990].

Whatever causes these cavities, they accumulate with age in both birds [Sukhanova 2021] and mammals [Chinsamy 1990]. The extent of Haversian remodelling also increases with individual age. In addition, it strongly varies between taxa [Chinsamy *et al*. 1998; Louchart *et al*. 2013; Padian *et al*. 2016].

Av-26 (femur of cf. *L. tethyensis*, Fig. 1*d*) is remarkable for the absence of resorption cavities and much less extensive Haversian remodelling compared to Av-18 (the same skeletal element of probably the same species, Fig. 2*a*). It is obviously a consequence of lower individual age, as evidenced by the absence of developed OCL.

Nevertheless, ICL of Av-26 has undergone several episodes of resorption followed by apposition. Thus, resorption in the medullary cavity several times resumed after it had generally ceased and was replaced by ICL apposition. Traces of one such event are also seen in Av-34. This phenomenon is known in birds [Drozdowska & Meissner 2014; de Ricqlès *et al*. 2016] and mammals [Tomassini *et al*. 2021], but its causes remain unclear. It has been hypothesised to reflect extraction of calcium for the needs of migration or reproduction, remodelling caused by increased loading or growth under conditions of malnutrition [Drozdowska & Meissner 2014]. In the case of Av-26, reproduction and migration are unlikely because of the absence or near-absence of OCL, which suggests that the bird died at the stage of pre-fledgling or, possibly, fledgling [Atterholt & Woodward 2021] and did not finish growth, while birds typically begin reproduction well after the end of growth [Erickson *et al*. 2007; Zheng *et al*. 2013].

Regarding reproduction, it should be noted that no medullary tissue (which could testify to egg-laying) was observed in the described bones.

The 'bulge' observed outwards of OCL of Av-11 (humerus of *L. tethyensis*; Fig. 1*b*) resembles a number of pathologies. Comparable formations in humans are known to be caused by various diseases. Most of them, unlike this 'bulge', consist of porous bone tissue with poorly ordered fibres, but, for instance, chronic treponemal diseases can cause slow-growing deposits of parallel lamellae [Schultz 2001]. Comparable outgrowths, but very porous again, were observed on bones of adult turkeys [Lanyon & Rubin 1984] and roosters [Rubin & Lanyon 1984] after cutting off the epiphyses and especially after application of a cyclic artificial loading. In addition, similar structures (but, apparently, with a rather chaotic vascular pattern) were described by Canoville *et al*. [2022] in cassowary, emu, and ostrich, and interpreted as likely pathologies. However, the 'bulge' in Av-11 can probably be explained without involving pathologies. Av-8 (the same skeletal element of presumably the same species) also shows unusual structure of the outer cortex: an ill-defined OCL, intermingled somewhere with the woven-parallel complex (Fig. 1*c*). Therefore, the lack of typical avian cortex structure may be normal for the humeri of *L. tethyensis*. Alternation of the OCL layers with underlying bone tissue is also locally seen in the femur of cf. *Dasornis* (Av-34, Fig. 2*b*). This suggests an unusually gradual, as for birds, termination of bone apposition, locally alternating with its minor resumption. A similar structure was described in the tibiotarsus of *Genyornis newtoni* (Gastornithiformes) and interpreted as a result of alternation of more and less favourable environmental conditions [Chinsamy & Worthy 2021]. The absence of a sharp border between OCL and the woven-parallel complex is reported for some recent birds, especially large ones: *Aquila*, *Buteo*, *Corvus*, and *Gyps* [Ponton *et al*. 2004]. In the kangaroo

Macropus fuliginosus, alternating layers of the woven-parallel and parallel-fibered tissue form annually [Chinsamy & Warburton 2020].

Thus, all the described bones come from skeletally mature individuals, except for Av-26 and Av-19, which were approaching skeletal maturity (more and less closely, respectively). Av-26 shows unexpected in such a young bird resorption, caused by unknown factors (possibly malnutrition). Av-18 and Av-34, on the contrary, were relatively old individuals, which have probably undergone a number of moulting and, possibly, egg-laying cycles. Av-34 died during or shortly after an episode of bone resorption. Av-8 and Av-11 (humeri of *L. tethyensis*) suggest unusually slow and intermittent, as for birds, termination of bone apposition.

Ecological implications

The trophic niche of pelagornithids is currently known only in general terms. It is hypothesised that they captured their prey near the water surface [Mayr 2009]. Their prey was likely fish or squid [Mayr 2017]. This grouping is very broad. It includes both main groups of animals inhabiting surface layers of the seas and having considerable, although not too large, body size. But feeding on fish and on squid needs different predation strategies. In some regions, squid constitutes >50% of diet of seabirds, but it is observed mostly in small parts of the oceans: waters of Hawaii and California. In the north-east of the North Atlantic, squid constitutes approximately 1% (by mass) of the diet of seabirds, while in the south-east of the North Atlantic it constitutes 16%. Why seabirds prefer feeding on fish is not completely clear [Furness 1994].

Pelagornithids were a highly specialised group [Mayr 2017]. This specialisation likely manifested itself also in feeding. Since many recent birds prefer either fish or squid, pelagornithids probably also preferred a particular type of prey.

Research into the diet of fossil birds should employ various methods, each of which can exclude some types of diet, narrowing the dietary possibilities [Miller & Pittman 2021]. This study presents results of osteohistological examination and, similarly to other methods, it does not give an exact answer though provides arguments in favour of one of the hypotheses.

The non-ossified mandibular symphysis and the presence of intraramal hinge in Odontopterygiformes imply their ability to swallow large prey. At the same time, these features weaken the jaws, diminishing grasping strength, which was probably compensated by the pseudoteeth [Louchart *et al*. 2013]. It is also notable that the jaw of *L. tethyensis* is hollow and thin-walled (Fig. 5), which further weakened it. The pseudoteeth are hollow as well [Howard 1957; Howard & White 1962; Louchart *et al.* 2013].

A remarkable feature of the pseudoteeth is alternation of shorter and longer ones (Fig. 5). It can be another compensation of the weak bite: the prey initially came in contact only with the longest 'teeth', so the bite force was distributed on a small number of 'teeth' creating a high pressure on their tips. Larger animals with stronger jaws do not need such adaptation. However, a possible relationship between teeth morphology and diet should also be taken into account. Olson [1985] suggested that uneven 'teeth' imply soft-bodied prey (probably squid), otherwise the short 'teeth' would not work at all. This was supported by Mayr *et al*. [2019], who also noted the probable fragility of these long 'teeth' and hypothesised that the large body size of Odontopterygiformes, which enabled good soaring efficiency [Ksepka 2014], could be caused by the need of search for shoals of these molluscs. On the other hand, recent mammals that specialise in feeding on squid (e.g. sperm whales) have not very sharp teeth, unlike piscivorous mammals (dolphins) and reptiles (gharials), which have mostly non-differentiated, elongated teeth with acute tips. This can imply that squid eaters tend to kill their prey by squashing between the jaws instead of piercing by the teeth. However, animals with sharp cutting teeth can eat squid as well [Massare 1987].

Another unusual feature of the pseudoteeth of some Odontopterygiformes is their inclination forward (Fig. 5). It also can be an adaptation for handling soft food items (using the dentition as a fork), as proposed by Westerberg [1990] for leptocephali, although this is disputed [Tsukamoto & Miller

Fig. 5. Lower jaw of *Lutetodontopteryx tethyensis* from Ikove (NMNHU-p Av-12).

Рис. 5. Нижня щелепа *Lutetodontopteryx tethyensis* з Ікового (NMNHU-p Av-12).

2021]. Forward-inclined teeth are also observed in some pterosaurs (e.g. *Rhamphorhynchus*) that are known to consume both fish and cephalopods [Hoffmann *et al.* 2020]. Some authors argue that Odontopterygiformes and *Rhamphorhynchus* captured their prey by skimming similarly to recent *Rynchops* (Laridae) using the teeth as prey trap [Mayr 2011; Mayr *et al.* 2019; Kloess *et al.* 2020], but for pterosaurs skimming was shown to be unlikely [Humphries *et al.* 2007]. Other authors supposed aerial surface capture of prey for both Odontopterygiformes and pterosaurs [Milner & Walsh 2009].

Fledging time of large pelagornithids was previously estimated at about 18 months [Louchart *et al.* 2018]. It could be an argument against their specialisation on feeding on squids. The abundance of most squids varies during the year [Luckhurst 2018], and specialisation in such food is risky for long-growing birds. According to our results, the development of pelagornithids was not too long (less than one year), so the hypothesis about their specialisation on squid consumption is not improbable.

The unusual resorption in ICL of Av-26 and Av-34, which could be caused by shortage of calcium, is in line with the idea of feeding on squids. They contain less calcium than the majority of marine animals (fishes, crustaceans, gastropods, bivalves, other cephalopods such as octopuses) [Özden & Erkan 2011]. Our results support the hypothesis about pelagornithids being specialised feeders on squids.

Conclusions

Bone histology suggests that the studied species of Odontopterygiformes were similar in growth rate and metabolic rate to extant Neognathae. Bone growth duration of *L. tethyensis* is estimated at 10^2 days. The layering of its ICL do not reflect years, making age determination using this feature impossible for this species. The results show that feeding on squids was possible for large pelagornithids. Refinement of the data on their trophic niche requires further studies using additional methods.

Acknowledgements

The study was conducted as part of the scientific topic 'Development of the biota in the late Cenozoic of Ukraine' (0120U100451) funded by the National Museum of Natural History, National Academy of Sciences of Ukraine. We thank the editors of GEO&BIO and the anonymous reviewers for their valuable comments that helped to improve the manuscript.

References

Alfonso-Carrillo, C., C. Benavides-Reyes, J. de los Mozos, N. Dominguez-Gasca, E. Sanchez-Rodríguez, A. I. Garcia-Ruiz, A. B. Rodriguez-Navarro. 2021. Relationship between bone quality, egg production and eggshell quality in laying hens at the end of an extended production cycle (105 weeks). *Animals*, **11**: 623. https://doi.org/10.3390/ani11030623

Angst D., A. Chinsamy, L. Steel, J. P. Hume. 2017. Bone histology sheds new light on the ecology of the dodo (Raphus cucullatus, Aves, Columbiformes). *Scientific Reports*, **7** (1): 7993. https://doi.org/10.1038/s41598-017-08536-3

Atterholt J., A. W. Poust, G. M. Erickson, J. K. O'Connor. 2021. Intraskeletal osteohistovariability reveals complex growth strategies in a Late Cretaceous enantiornithine. *Frontiers in Earth Science*, **9**: 640220. https://doi.org/10.3389/feart.2021.640220

Atterholt J., H. N. Woodward. 2021. A histological survey of avian post-natal skeletal ontogeny. *PeerJ*, **9**: e12160. https://doi.org/10.7717/peerj.12160

Bailleul A. M., J. O'Connor, M. H. Schweitzer. 2019. Dinosaur paleohistology: review, trends and new avenues of investigation. *PeerJ*, **7**: e7764. https://doi.org/10.7717/peerj.7764

Benavides-Reyes, C., A. B. Rodriguez-Navarro, H. A. McCormack, B. K. Eusemann, N. Dominguez-Gasca, P. Alvarez-Lloret, R. H. Fleming, S. Petow, I. C. Dunn. 2021. Comparative analysis of the morphology, chemistry and structure of the tibiotarsus, humerus and keel bones in laying hens. *British Poultry Science*, **62** (6): 795–803. https://doi.org/10.1080/00071668.2021.1943310

Bourdon E., J. Castanet, A. de Ricqles, P. Scofield, A. Tennyson, H. Lamrous, J. Cubo. 2009. Bone growth marks reveal protracted growth in New Zealand kiwi (Aves, Apterygidae). *Biology Letters*, **5** (5): 639–642. https://doi.org/10.1098/rsbl.2009.0310

Bourdon E. 2011. The Pseudo-toothed birds (Aves, Odontopterygiformes) and their bearing on the early evolution of modern birds. *In*: Dyke, G., G. Kaiser (Eds). *Living Dinosaurs: The Evolutionary History of Modern Birds*. Wiley-Blackwell, Chichester, 209–234. https://doi.org/10.1002/9781119990475.ch8

Broughton, J. M., D. Rampton, K. Holanda. 2002. A test of an osteologically based age determination technique in the Double-crested Cormorant Phalacrocorax auritus. *Ibis*, **144** (1): 143–146. https://doi.org/10.1046/j.0019-1019.2001.00004.x

Canoville, A.; A. Chinsamy, D. Angst. 2022. New comparative data on the long bone microstructure of large extant and extinct flightless birds. *Diversity*, **14**: 298. https://doi.org/10.3390/d14040298

Carrier, D. R., J. Auriemma. 1992. A developmental constraint on the fledging time of birds. *Biological Journal of the Linnean Society*, **47** (1): 61–77. https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.1992.tb00656.x

Castanet, J., K. Curry Rogers, J. Cubo, J. Jacques-Boisard. 2000. Periosteal bone growth rates in extant ratites (ostriche and emu). Implications for assessing growth in dinosaurs. *Comptes Rendus de l'Académie Des Sciences - Series III - Sciences de La Vie*, **323** (6): 543–550. https://doi.org/10.1016/S0764-4469(00)00181-5

Cerda, I. A., C. P. Tambussi, F. J. Degrange. 2014. Unexpected microanatomical variation among Eocene Antarctic stem penguins (Aves: Sphenisciformes). *Historical Biology*, **27** (5): 549–557. https://doi.org/10.1080/08912963.2014.896907

Chinsamy, A. 1990. Physiological implications of the bone histology of Syntarsus rhodesiensis (Saurischia: Theropoda). *Palaeontologia Africana,* **27**: 77–82.

Chinsamy, A., L. M. Chiappe, P. Dodson. 1995. Mesozoic avian bone microstructure: physiological implications. *Paleobiology*, **21** (04): 561–574. https://doi.org/10.1017/S0094837300013543

Chinsamy, A. 1997. Assessing the biology of fossil vertebrates through bone histology. *Palaeontologia Africana*, **33**: 29–35.

Chinsamy, A., L. D. Martin, P. Dodson. 1998. Bone microstructure of the diving Hesperornis and the volant Ichthyornis from the Niobrara Chalk of western Kansas. *Cretaceous Research*, **19** (2): 225–235. https://doi.org/10.1006/cres.1997.0102

Chinsamy, A. 2002. Bone microstructure of early birds. *In*: Chiappe L. M., L. M. Witmer (Eds). *Mesozoic Birds: Above the Heads of Dinosaurs*. University of California Press, Berkeley, 421–431.

Chinsamy, A., D. Angst, A. Canoville, U. B. Göhlich. 2020a. Bone histology yields insights into the biology of the extinct elephant birds (Aepyornithidae) from Madagascar. *Biological Journal of the Linnean Society*, **130** (2): 268–295. https://doi.org/10.1093/biolinnean/blaa013

Chinsamy, A., J. Marugán-Lobón, F. J. Serrano, L. Chiappe. 2020b. Osteohistology and life history of the basal pygostylian, Confuciusornis sanctus. *The Anatomical Record*, **303** (4): 949–962. https://doi.org/10.1002/ar.24282

Chinsamy, A., N. M. Warburton. 2020. Ontogenetic growth and the development of a unique fibrocartilage entheses in Macropus fuliginosus. *Zoology*, **144**: 125860. https://doi.org/10.1016/j.zool.2020.125860

Chinsamy, A., T. H. Worthy. 2021. Histovariability and palaeobiological implications of the bone histology of the dromornithid, *Genyornis newtoni*. *Diversity*, **13** (5): 219. https://doi.org/10.3390/d13050219

Cubo, J., N. Le Roy, C. Martinez-Maza, L. Montes. 2012. Paleohistological estimation of bone growth rate in extinct archosaurs. *Paleobiology*, **38** (2): 335–349. https://doi.org/10.1666/08093.1

Curry Rogers, K., G. M. Erickson. 2005. Sauropod histology: microscopic views on the lives of giants. *In*: K. Curry Rogers (Ed). *The Sauropods: Evolution and Paleobiology*. University of California Press, Oakland, 303–326. https://doi.org/10.1525/9780520932333-014

Dabee, V. P. 2013. Comparison of the long bone microstructure of two southern African marine birds, the Cape gannet (Morus capensis) and the African penguin (*Spheniscus demersus*) with respect to their aquatic adaptations. Bachelor thesis, University of Cape Town, 1–68.

D'Emic, M. D., R. B. J. Benson. 2013. Measurement, variation, and scaling of osteocyte lacunae: a case study in birds. *Bone*, **57** (1): 300–310. https://doi.org/10.1016/j.bone.2013.08.010

De Buffrénil, V., A. Quilhac. 2021. Bone tissue types: a brief account of currently used categories. *In*: de Buffrénil, V., A. J. de Ricqlès, L. Zylberberg, K. Padian (Eds). *Vertebrate Skeletal Histology and Paleohistology*. CRC Press, Boca Raton and London, 147–182. https://doi.org/10.1201/9781351189590-8

De Buffrénil, V., A. Quilhac, J. Cubo. 2021. Accretion rate and histological features of bone. *In*: de Buffrénil, V., A. J. de Ricqlès, L. Zylberberg, K. Padian (Eds). *Vertebrate Skeletal Histology and Paleohistology*. CRC Press, Boca Raton and London, 221–228. https://doi.org/10.1201/9781351189590-10

De Margerie, E., J. Cubo, J. Castanet. 2002. Bone typology and growth rate: testing and quantifying 'Amprino's rule' in the mallard (Anas platyrhynchos). *Comptes Rendus: Biologies*, **325** (3): 221–230. https://doi.org/10.1016/s1631-0691(02)01429-4

De Margerie, E., J.-P. Robin, D. Verrier, J. Cubo, R. Groscolas, J. Castanet. 2004. Assessing a relationship between bone microstructure and growth rate: a fluorescent labelling study in the king penguin chick (Aptenodytes patagonicus). *Journal of Experimental Biology*, **207** (5): 869–879. https://doi.org/10.1242/jeb.00841

De Ricqlès, A. J., K. Padian, J. R. Horner, E.-T. Lamm, N. Myhrvold. 2003. Osteohistology of Confuciusornis sanctus (Theropoda: Aves). *Journal of Vertebrate Paleontology*, **23** (2): 373–386. https://doi.org/10.1671/0272-4634(2003)023[0373:OOCSTA]2.0.CO;2

De Ricqlès, A., E. Bourdon, L. J. Legendre, J. Cubo. 2016. Preliminary assessment of bone histology in the extinct elephant bird *Aepyornis* (Aves, Palaeognathae) from Madagascar. *Comptes Rendus Palevol*, **15** (1–2): 197–208. https://doi.org/10.1016/j.crpv.2015.01.003

Dernov, V. S., N. I. Udovichenko. 2020. Trace fossils from locality of Eocene vertebrates «Ikovo» (Lugansk region). *In*: Peresadko, V. A., A. V. Matveev, I. V. Vysochansky [et al.]. (Eds). *Latest problems of geology: materials of scientific and practical conference in memoriam to V. P. Makrydin; Jun 02–04; Kharkiv*. V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, 19–21. [In Russian]

Dernov, V., M. Udovychenko. 2023. Trace fossils from the Buchak Formation (Lutetian, Eocene) of Luhansk Oblast, Ukraine, and their palaeogeographic significance. *Geo&Bio*, **24**: xx–xx. [In Ukrainian] https://doi.org/10.15407/gb2408

Dobrovolsky, S. 2023a. Preparation of ground sections using UV-curable acrylic adhesives. *Biosystems Diversity*, **31** (1): 34–53. https://doi.org/10.15421/012305

Dobrovolsky, S. 2023b. Bone microstructure of bony-toothed birds (Odontopterygiformes) from the Eocene of Ikove, Ukraine: preliminary paleobiological implications. *Historical Biology*, **35** (8). http://doi.org/10.1080/08912963.2023.2228335

Drozdowska, J., W. Meissner. 2014. Changes in endosteal cell layer number of long bones are not appropriate for ageing birds: evidence from Baltic razorbills (Alca torda Linnaeus, 1758). *Zoologischer Anzeiger*, **253** (6): 493–496. http://doi.org/10.1016/j.jcz.2014.07.001

Erickson, G. M. 2005. Assessing dinosaur growth patterns: a microscopic revolution. *Trends in Ecology & Evolution*, **20** (12): 677–684. http://doi.org/10.1016/j.tree.2005.08.012

Erickson, G. M., K. Curry Rogers, D. J. Varricchio, M. A. Norell, X. Xu. 2007. Growth patterns in brooding dinosaurs reveals the timing of sexual maturity in non-avian dinosaurs and genesis of the avian condition. *Biology Letters*, **3** (5): 558–561. http://doi.org/10.1098/rsbl.2007.0254

Furness, R. W. 1994. An estimate of the quantity of squid consumed by seabirds in the eastern North Atlantic and adjoining seas. *Fisheries Research*, **21**: 165–177. http://doi.org/10.1016/0165-7836(94)90102-3

Hoffmann, R., J. Bestwick, G. Berndt, D. Fuchs, C. Klug. 2020. Pterosaurs ate soft-bodied cephalopods (Coleoidea). *Scientific Reports*, **10** (1): 1230. https://doi.org/10.1038/s41598-020-57731-2

Howard, H. 1957. A gigantic "toothed" marine bird from the Miocene of California. *Bulletin of the Department of Geology of the Santa Barbara Museum of Natural History*, **1**: 1–23.

Howard H., J. A. White. 1962. A second record of *Osteodontornis*, Miocene "toothed" bird. *Los Angeles County Museum Contributions in Science*, **52**: 1–12.

Humphries S., R. H. C. Bonser, M. P. Witton, D. M. Martill. 2007. Did pterosaurs feed by skimming? Physical modelling and anatomical evaluation of an unusual feeding method. *PLoS Biology*, **5** (8): 204. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0050204

Klevezal, G. A. 1972. О связи скорости роста животного и образования годовых слоев в кости млекопитающих. [On the relationship between the rate of growth of an animal and the formation of annual layers in the bones of mammals]. *Zhurnal obshchey biologii*, **33** (2): 166–175. [In Russian]

Klevezal, G. A., E. M. Smirina. 2016. Регистрирующие структуры наземных позвоночных. Краткая история и современное состояние исследований [Registering structures of terrestrial vertebrates. Brief history and modern state of knowledge]. *Zoologicheskiy zhurnal*, **95** (8): 872–896. [In Russian] http://doi.org/10.7868/S0044513416080079

Kloess, P. A., A. W. Poust, T. A. Stidham. 2020. Earliest fossils of giant-sized bony-toothed birds (Aves: Pelagornithidae) from the Eocene of Seymour Island, Antarctica. *Scientific Reports*, **10**: 18286. https://doi.org/10.1038/s41598-020-75248-6

Klomp, N. I., R. W. Furness. 1992. A technique which may allow accurate determination of the age of adult birds. *Ibis*, **134** (3): 245–249. https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.1992.tb03806.x

Ksepka, D. T. 2014. Flight performance of the largest volant bird. *PNAS*, **111** (29): 10624–10629. https://doi.org/10.1073/pnas.1320297111

Kuehn, A. L., A. H. Lee, R. P. Main, E. L. R. Simons. 2019. The effects of growth rate and biomechanical loading on bone laminarity within the emu skeleton. *PeerJ*, **7**: e7616. https://doi.org/10.7717/peerj.7616

Lanyon, L. E., C. T. Rubin. 1984. Static vs dynamic loads as an influence on bone remodelling. *Journal of Biomechanics*, **17** (12): 897–905. https://doi.org/10.1016/0021-9290(84)90003-4

Lee, A. H., A. K. Huttenlocker, K. Padian, H. N. Woodward. 2013. Analysis of growth rates. *In*: Padian, K., E.-T. Lamm (Eds.). *Bone Histology of Fossil Tetrapods*. University of California Press, Berkeley, 217–251. https://doi.org/10.1525/california/9780520273528.003.0008

Lewis, J. C. 1979. Periosteal layers do not indicate ages of sandhill cranes. *The Journal of Wildlife Management*, **43** (1): 269–271. https://doi.org/10.2307/3800672

Louchart, A., J. Y. Sire, C. Mourer-Chauviré, D. Geraads, L. Viriot, V. de Buffrénil. 2013. Structure and growth pattern of pseudoteeth in Pelagornis mauretanicus (Aves, Odontopterygiformes, Pelagornithidae). *PLoS One*, **8** (11): e80372. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080372

Louchart, A., V. de Buffrénil, E. Bourdon, M. Dumont, L. Viriot, J. Y. Sire. 2018. Bony pseudoteeth of extinct pelagic birds (Aves, Odontopterygiformes) formed through a response of bone cells to tooth-specific epithelial signals under unique conditions. *Scientific Reports,* **8** (1): 12952. https://doi.org/10.1038/s41598-018-31022-3

Luckhurst, B. E. 2018. A preliminary assessment of the ecological role and importance of squid in the pelagic trophic web of the northwest Atlantic Ocean including the Sargasso Sea. *Collective Volume of Scientific Papers. ICCAT*, **74** (7): 3679–3691.
Marsà, J. A. G., F. L. Agnolín, F. Novas. 2017. Bone microstructure of Vegavis iaai (Aves, Anseriformes) from the Upper Cretaceous of Vega Island, Antarctic Peninsula. *Historical Biology*, **31** (2): 1–5. https://doi.org/10.1080/08912963.2017.1348503
Masden, E. A., D. T. Haydon, A. D. Fox, R. W. Furness. 2010. Barriers to movement: Modelling energetic costs of avoiding marine wind farms amongst breeding seabirds. *Marine Pollution Bulletin*, **60** (7): 1085–1091. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.01.016
Massare, J. A. 1987. Tooth morphology and prey preference of Mesozoic marine reptiles. *Journal of Vertebrate Paleontology*, **7** (2): 121–137. https://doi.org/10.1080/02724634.1987.10011647
Mayr, G. 2009. *Paleogene Fossil Birds*. Springer, Heidelberg, 1–262. https://doi.org/10.1007/978-3-540-89628-9
Mayr, G. 2011. Cenozoic mystery birds – on the phylogenetic affinities of bony-toothed birds (Pelagornithidae). *Zoologica Scripta*, **40** (5): 448–467. https://doi.org/10.1111/j.1463-6409.2011.00484.x
Mayr, G., E. Zvonok. 2012. A new genus and species of Pelagornithidae with well-preserved pseudodentition and further avian remains from the middle Eocene of the Ukraine. *Journal of Vertebrate Paleontology*, **32** (4): 914–925. https://doi.org/10.1080/02724634.2012.676114
Mayr, G. 2017. *Avian Evolution*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 1–293. https://doi.org/10.1002/9781119020677
Mayr, G., V. L. De Pietri, L. Love, A. Mannering, R. P. Scofield. 2019. Oldest, smallest and phylogenetically most basal pelagornithid, from the early Paleocene of New Zealand, sheds light on the evolutionary history of the largest flying birds. *Papers in Palaeontology*, **7** (1): 217–233. https://doi.org/10.1002/spp2.1284
Meister, W. 1951. Changes in histological structure of the long bones of birds during the molt. *The Anatomical Record*, **3**: 1–21. https://doi.org/10.1002/ar.1091110102
Miller, C. V., M. Pittman. 2021. The diet of early birds based on modern and fossil evidence and a new framework for its reconstruction. *Biological Reviews*, **96**: 2058–2112. https://doi.org/10.1111/brv.12743
Milner, A. C., S. A. Walsh. 2009. Avian brain evolution: new data from Palaeogene birds (Lower Eocene) from England. *Zoological Journal of the Linnean Society*, **155** (1): 198–219. https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.2008.00443.x
Mlíkovský, J. 2009. Evolution of the Cenozoic marine avifaunas of Europe. *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien*, **111A**: 357–374.
Monfroy, Q. T., M. Kundrát. 2021. The osteohistological variability in the evolution of basal avialans. *Acta Zoologica*, **103** (1): 1–28. https://doi.org/10.1111/azo.12396
Montes L., N. Le Roy, M. Perret, V. De Buffrenil, J. Castanet, J. Cubo. 2007. Relationships between bone growth rate, body mass and resting metabolic rate in growing amniotes: a phylogenetic approach. *Biological Journal of the Linnean Society*, **92** (1): 63–76. https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2007.00881.x
Montes, L., J. Castanet, J. Cubo. 2010. Relationship between bone growth rate and bone tissue organization in amniotes: first test of Amprino's rule in a phylogenetic context. *Animal Biology*, **60** (1): 25–41. https://doi.org/10.1163/157075610X12610595764093
Newman, S., S. Leeson. 1999. The effect of feed deprivation and subsequent refeeding on the bone characteristics of aged hens. *Poultry Science*, **78** (12): 1658–1663. https://doi.org/10.1093/ps/78.12.1658
O'Connor, J. K., M. Wang, Sh. Zhou, Zh. Zhou. 2015. Osteohistology of the Lower Cretaceous Yixian Formation ornithuromorph (Aves) Iteravis huchzermeyeri. *Palaeontologia Electronica* 18.2.35A: 1–11. https://doi.org/10.26879/520
Olson, S. L. 1985. The fossil record of birds. *In*: Farner D. S., J. R. King, K. C. Parkes (Eds). *Avian Biology*. Academic Press, New York, 79–238. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-249408-6.50011-X
Özden, Ö., N. Erkan. 2011. A preliminary study of amino acidand mineral profiles of importantand estimable 21 seafood species. *British Food Journal*, **113** (4): 457–469. https://doi.org/10.1108/00070701111123943
Padian, K. 2013. Why study the bone microstructure of fossil tetrapods? *In*: Padian, K., E.-T. Lamm (Eds). *Bone Histology of Fossil Tetrapods*. University of California Press, Berkeley, 1–11. https://doi.org/10.1525/9780520955110-003
Padian, K., S. Werning, J. R. Horner. 2016. A hypothesis of differential secondary bone formation in dinosaurs. *Comptes Rendus Palevol*, **15** (1-2): 40–48. https://doi.org/10.1016/j.crpv.2015.03.002
Padian K., H. N. Woodward. 2021. Archosauromorpha: Avemetatarsalia – dinosaurs and their relatives. *In*: de Buffrénil, V., A. J. de Ricqlès, L. Zylberberg, K. Padian (Eds). *Vertebrate Skeletal Histology and Paleohistology*. CRC Press, Boca Raton and London, 511–549. https://doi.org/10.1201/9781351189590-27
Pratt, I. V., J. D. Johnston, E. Walker, D. M. L. Cooper. 2018. Interpreting the three-dimensional orientation of vascular canals and cross-sectional geometry of cortical bone in birds and bats. *Journal of Anatomy*, **232** (6): 931–942. https://doi.org/10.1111/joa.12803
Prondvai, E., P. E. Witten, A. Abourachid, A. Huysseune, D. Adriaens. 2019. Extensive chondroid bone in juvenile duck limbs hints at accelerated growth mechanism in avian skeletogenesis. *Journal of Anatomy*, **236** (3): 463–473. https://doi.org/10.1111/joa.13109
Rubin, C. T., L. E. Lanyon. 1984. Regulation of bone formation by applied dynamic loads. *Journal of Bone and Joint Surgery*, **66-A** (3): 397–402.

Sandvig, E. M., T. Coulson, S. M. Clegg. 2019. The effect of insularity on avian growth rates and implications for insular body size evolution. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **286** (1894): 20181967. https://doi.org/10.1098/rspb.2018.1967
Sandvig, E. M., T. Coulson, B. C. Robertson, W. E. Feeney, S. M. Clegg. 2022. Insular nestling growth and its relationship to parental care effort in Silvereyes, Zosterops lateralis. *Emu — Austral Ornithology*, **122** (3-4): 193–202. https://doi.org/10.1080/01584197.2022.2105723
Schucht, P. J., N. Klein, M. Lambertz. 2021. What's my age again? On the ambiguity of histology-based skeletochronology. *Proceedings of the Royal Society B*, **288**: 20211166. https://doi.org/10.1098/rspb.2021.1166
Schultz, M. 2001. Paleohistopathology of bone: a new approach to the study of ancient diseases. *American Journal of Physical Anthropology,* Suppl. 33: 106–47. https://doi.org/10.1002/ajpa.10024.abs
Starck, J. M., A. Chinsamy A. 2002. Bone microstructure and developmental plasticity in birds and other dinosaurs. *Journal of Morphology*, **254** (3): 232–246. https://doi.org/10.1002/jmor.10029
Sukhanova, N. S. 2021. Age-related changes of the histological structure in the limb bones of the domestic fowl. *Agricultural Science Euro-North-East*, **22** (2): 264–277. [In Russian]. https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.264-277
Tomassini, R.L., M. D. Pesquero, M. C. Garrone [et al.] 2021. First osteohistological and histotaphonomic approach of *Equus occidentalis* Leidy, 1865 (Mammalia, Equidae) from the late Pleistocene of Rancho La Brea (California, USA). *PLoS ONE*, **16** (12): e0261915. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261915
Tsukamoto K., M. J. Miller. 2021. The mysterious feeding ecology of leptocephali: a unique strategy of consuming marine snow materials. *Fisheries Science*, **87**: 11–29. https://doi.org/10.1007/s12562-020-01477-3
Turvey, S. T., O. R. Green, R. N. Holdaway. 2005. Cortical growth marks reveal extended juvenile development in New Zealand moa. *Nature*, **435** (7044): 940–943. https://doi.org/10.1038/nature03635
Udovichenko, N. I. 2009. Ichthyofauna and age of the Paleogene sands of Osinove area, Lugansk region. *In*: *Fossil fauna and flora of Ukraine: paleoecological and stratigraphic aspects*. Collection of Scientific Works of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine. Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 255–261. [In Russian]
Van Soest, R. W. M., W. L. van Utrecht. 1971. The layered structure of bones of birds as a possible indication of age. *Bijdragen tot de Dierkunde*, **41** (1): 61–66. https://doi.org/10.1163/26660644-04101008
Wang, M., Zh. Li, Zh. Zhou. 2017. Insight into the growth pattern and bone fusion of basal birds from an Early Cretaceous enantiornithine bird. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **114** (43): 11470–11475. https://doi.org/10.1073/pnas.1707237114
Werning, S. A. 2013. Evolution of bone histological characters in amniotes, and the implications for the evolution of growth and metabolism. Ph.D. thesis, University of California, Berkeley, 1–445.
Westeberg, H. 1990. A proposal regarding the source of nutrition of leptocephalus larvae. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie,* **75** (6): 863–864. https://doi.org/10.1002/iroh.19900750632
Whitehead, C. C. 2004. Overview of bone biology in the egg-laying hen. *Poultry Science*, **83**: 193–199. https://doi.org/10.1093/ps/83.2.193
Wilson, L. E., K. Chin. 2014. Comparative osteohistology of Hesperornis with reference to pygoscelid penguins: the effects of climate and behaviour on avian bone microstructure. *Royal Society Open Science*, **1**: 140245. https://doi.org/10.1098/rsos.140245
Wilson, S., B. H. Thorp. 1998. Estrogen and cancellous bone loss in the fowl. *Calcified Tissue International*, **62** (6): 506–511. https://doi.org/10.1007/s002239900470
Woodward, H. N., K. Padian, A. H. Lee. 2013. Skeletochronology. *In*: Padian, K., E.-T. Lamm (Eds). *Bone Histology of Fossil Tetrapods*. University of California Press, Berkeley, 195–215. https://doi.org/10.1525/california/9780520273528.003.0007
Yamada, M., C. Chen, T. Sugiyama, W. K. Kim. 2021. Effect of age on bone structure parameters in laying hens. *Animals*, **11** (2): 570. https://doi.org/10.3390/ani11020570
Yan, J., Z. Zhang. 2020. Post-hatching growth of the limbs in an altricial bird species. *Veterinary Medicine and Science*, **7** (1): 210–218. https://doi.org/10.1002/vms3.357
Zelenkov, N. V., E. N. Kurochkin. 2015. Класс Aves [Class Aves]. *In*: Kurochkin E. N., A. V. Lopatin, N. V. Zelenkov (Eds). *Fossil vertebrates of Russia and adjacent countries. Fossil reptiles and birds. Part 3*. GEOS, Moscow, 86–290. [In Russian]
Zhao, S. C., X. Q. Teng, D. L. Xu, X. Chi, M. Ge, S. W. Xu. 2020. Influences of low level of dietary calcium on bone characters in laying hens. *Poultry Science*, **99**: 7084–7091. https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.08.057
Zvonok, E., M. Udovichenko, A. Bratishko. 2012. Location of Eocene vertebrates Ikove (Luhansk region, Ukraine): ecological and taphonomic analysis. *Paleontological review*, **44**: 107–122. [In Ukrainian]

GEO&BIO

2023 • vol. 24, pp 159–165
https://doi.org/10.53452/gb2410

Mathematical reasoning of age determination of Quaternary sediments

Sergiy Prylypko, Sofiia Alpert

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

article info

key words
luminescence methods, thermoluminescence method, Quaternary sediments, mathematical reasoning, paleodosimeters.

correspondence to
Sofiia Alpert; Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth, Institute of Geological Sciences, NAS of Ukraine; 55-b Oles Gonchar Street, Kyiv, 01054 Ukraine,
Email: sonyasonet87@gmail.com
orcid: 0000-0002-7284-6502

article history
Submitted: 02.02.2023. Revised: 01.03.2023. Accepted: 30.06.2023

cite as
Prylypko, S., S. Alpert. 2023. Mathematical reasoning of age determination of Quaternary sediments. *GEO&BIO*, **24**: 159–165. [In Ukrainian, with English summary]

abstract

The possibilities of applying the thermoluminescence method (TL-method) to investigate Quaternary sediments have been considered. The TL-method is used for dating in archaeology and geology. It was noted that this method covers larger age intervals than carbon dating. The TL-method is based on the measurement of the decay energy of natural radionuclides that are present in the rock. Therefore, the TL-method can be applied to the development of methodical and methodological issues of geochronology. Geochronological methods make it possible to date Quaternary sediments with a laboratory error of about five percent. Thus, it can be considered that the practical application of the thermoluminescence method for Quaternary sediments is highly important. This method provides a more detailed and accurate display of geochronological events. A new mathematical approach of age determination of Quaternary sediments applying the TL-method has been proposed. This new method can be applied for determination of the age of sediments and for conducting correlations between Neopleistocene sediments of remote regions. It has been noted that the TL-method of determination of the 'absolute' and relative age of Quaternary sediments is based on the properties of quartz crystals to accumulate energy of decay and to emit it during heating. It also was noted that quartz crystals as paleodosimeters can accumulate and preserve the age-related information for a long period of time. Quartz is the most common natural paleodosimeter. A mathematical formula for the age parameter has been proposed, using the energy that was accumulated by the investigated sample over time, the velocity of the formation of radiation defects, and the velocity of annihilation. The mathematical derivation of the formula for the age parameter is presented. The solution of the differential equation is described in detail. The proposed approach shows which sediments of an area are younger and which are older. It is emphasized that the proposed mathematical approach to the TL-method is effective for age determination of rocks, determining the sequence of the rock accumulation and for conducting correlation of different Quaternary sediments from different sections.

© 2023 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.

Математичне обґрунтування визначення віку четвертинних відкладів

Сергій Прилипко, Софія Альперт

Резюме. Розглянуто можливість застосування термолюмінесцентного методу (ТЛ-методу) з метою дослідження четвертинних відкладів. ТЛ-метод застосовується для датування в археології та геології. Відзначено, що цей метод охоплює більші вікові інтервали ніж радіовуглецеве датування. ТЛ-метод базується на вимірюванні енергії розпаду природних радіонуклідів присутніх у породі. Тому цей ТЛ-метод може бути застосований для розробки методичних та методологічних питань геохронології. Геохронологічні методи дозволяють датувати четвертинні відклади з лабораторною похибкою близько п'яти відсотків. Таким чином, можна рахувати, що практичне застосування термолюмінесцентного методу для четвертинних відкладів має дуже велике значення. Даний метод забезпечує більш детальне і точне відображення геохронологічних подій. Було запропоновано новий математичний підхід визначення віку четвертинних відкладів термолюмінесцентним методом. Показано, що цей запропонований метод може бути застосований для визначення віку відкладів та для встановлення кореляцій між неоплейстоценовими відкладами віддалених регіонів. Нами відзначено, що термолюмінесцентний метод встановлення «абсолютного» та відносного віку четвертинних відкладів заснований на властивості кристалів кварцу накопичувати енергію розпаду та віддавати її під час нагрівання. Також було зазначено, що саме кристали кварцу як палеодозиметри можуть накопичувати та зберігати вікову інформацію протягом тривалого часу. Кварц є найбільш поширеним природним палеодозиметром. Нами запропоновано математичну формулу визначення вікового параметра, використовуючи енергію, накопичену досліджуваним зразком в часі, швидкість утворення радіаційних дефектів і швидкість анігіляції. Зроблено математичне виведення формули для визначення вікового параметра. У даній статті нами було детально описано розв'язання диференціального рівняння. Запропонований підхід показує, які із відкладів досліджуваної ділянки є молодшими, а які древніші. Підкреслено, що запропонований математичний підхід до термолюмінесцентного методу є ефективним при визначенні віку та встановленні послідовності накопичення порід та для проведення кореляції різних четвертинних відкладів із різних розрізів.

Ключові слова: люмінесцентні методи, термолюмінесцентний метод, четвертинні відклади, математичне обґрунтування, палеодозиметри.

Адреса для зв'язку: Софія Альперт; Науковий центрНауковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України; вул. О. Гончара, 55-б, Київ, 01054 Україна, orcid: 0000-0002-7284-6502, Email: sonyasonet87@gmail.com

Вступ

Важливим завданням сучасних геохронологічних досліджень є встановлення віку та послідовності геологічних відкладів, які складають досліджувані горизонти.

Це актуально не тільки для розуміння процесів, які відбувалися в певні періоди часу, а і для реконструкції кліматичних явищ, які впливали на формування даного розрізу.

При датуванні геологічних відкладів використовується цілий комплекс методів: фізичних, геохронологічних, палеонтологічних, літологічних та інших.

До фізичних методів відносяться такі методи визначення віку: TL-метод (thermoluminescence method, термолюмінесцентний метод), OSL-метод (optically stimulated luminescence method, оптично стимульований люмінесцентний метод), палеомагнітний метод, C^{14} (вуглецеве датування) та інші, за допомогою яких визначаємо відносний та абсолютний вік досліджуваних розрізів та горизонтів.

На територіях, де виникають спірні питання геохронологічного розчленування неоплейстоценових відкладів необхідні комплексні детальні геохронологічні роботи.

Термолюмінесцентне датування — методологія, яка базується на вимірюванні кількісті енергії, яка випромінюється у вигляді світла, що накопичується у осадочних породах та ґрунтах. Цей метод є потужним інструментом, який допомагає визначати вік четвертинних відкладів.

Застосування TL-методу

Більшість мінералів надзвичайно чутливі до великої кількості зовнішніх факторів, які впливають на їх кристалічну структуру. Ми використовуємо мінерали, які здатні накопичувати в своїй кристалічній решітці вікову інформацію і виступати в ролі палеодозиметра.

В якості природного палеодозиметра можуть виступати різні оптично прозорі мінерали-діелектрики. Одним із них є кварц, мінерал, який широко розповсюджений в земній корі. Лесові породи на 80% складаються із кристалів кварцу. Кристали кварцу мають таку властивість як здатність накопичувати енергію розпаду радіоактивних природних радіонуклідів, присутніх в породі. Відклади лесової формації складаються в основному із пилуватих зерен, проміжки між якими заповнені глинистими частинками Самі кварцові зерна не мають радіоактивних властивостей. Зате глинисті частки здатні відсорбовувати радіонукліди, що утворює сприятливі умови для радіоактивації кристалів кварцу.

Необхідною умовою для достовірності TL-досліджень є обов'язкове стирання (обнуління) попередньо накопиченої, так званої, прогенетичної світлосуми в кристалах кварцу.

Формування субаеральних лесових відкладів антропогену відбувається під впливом зовнішніх факторів, зокрема, пов'язаних із впливом сонячної радіації. При переміщенні частинки пилу піддаються відбілюючому ефекту, тобто зняттю прогенетичної світло суми. Під впливом ультрафіолетового випромінювання вони повністю втрачають свою раніше накопичену кристалами кварцу прогенетичну світлосуму.

Деякі мінерали, такі як кальцит, польовий шпат і кварц здатні накопичувати енергію з відомою швидкістю. Ця енергія міститься в кристалічних решітках мінералу. Під час нагрівання ці кристали віддають накопичену ними енергію [Singhvi & Mejdahl 1985].

Лесова формація як правило містить велику частку пилуватого кварцу, який виступає в ролі природного палеохронометра.

Коли ми визначаємо вік відкладів, гірських порід або артефактів, припускаємо, що будь-який раніше захоплений заряд було видалено під дією денного світла під час осадкоутворення або транспортування. Цей процес відомий як обнуління, скидання або відбілювання.

Дана методика широко застосовуються в археології та геології для датування геологічних відкладів та гірських порід. Методи TL, OSL вимірюють енергію накопичену після того, як об'єкт був обнулений під впливом ультрафіолетового світла. Вони фіксують момент, коли об'єкт в останнє зазнав опромінення сонячним світлом (ультрафіолетового спектру). Датування TL — OSL базується на тому факті, що мінерали кварцу зберігають дані про дозу опромінення, отриману ними від природних радіонуклідів протягом часу перебування в породі в захороненому стані.

Термолюмінесцентне датування є точним в діапазоні від кількох тисяч до кількох сотень тисяч років. Методи, такі як TL-метод, OSL-метод і C^{14} є інформативними та широко вживаними дозиметричними методами [Bøtter-Jensen *et al.* 2000]. Застосування TL-методу дозволяє оцінити основні вікові характеристики, тобто час, який пішов на формування геологічних тіл і розрізів. [Greilich *et al.* 2002]. При застосуванні термолюмінесцентного методу ми вимірюємо енергію випромінену зразком під впливом температури в діапазоні від 0 до 350 C^0, а оптично стимульована люмінесценція викликається енергією лазерного променю, тобто лазером.

Слід зазначити, що можливість застосування ТЛ-методу для визначення віку мінералів і родовищ вперше запропонував хімік Д. Фаррінгтон у 1950-х роках. Протягом 1960-х і 1970-х років дослідницька лабораторія археології та історії мистецтв Оксфордського університету проводила роботи з вдосконалення TL-методу для датування археологічних матеріалів. TL-метод використовується з метою визначення віку керамічних артефактів. В Україні TL-метод розроблявся та впроваджувався В. М. Шовкоплясом та Г. В. Морозовим.

Метод визначення відносного та «абсолютного» віку четвертинних відкладів ґрунтується на властивостях кристалів кварцу накопичувати енергію радіоактивного розпаду радіонуклідів,

присутніх в породі і потім під дією температурного впливу випромінювати її у вигляді світлового потоку.

Методика TL-датування ґрунтується на тому, що термолюмінесценція в мінералах виникає під дією фонової радіації і її розмір пропорційний потужності дози радіоактивації кристалів та тривалості її дії.

Тому, знаючи швидкість накопичення енергії (світлосуми) за одиницю часу ерг/рік при незмінній природній радіоактивності можна встановити вік зразка в роках, який реєструють у вигляді площі під кривою теплового випромінювання або по інтенсивності піку цієї кривої. Потім ми ділимо кількість накопиченої енергії на фонову радіоактивність осаду чи породи. Після цього розраховуємо значення, яке характеризує вік досліджуваного зразка. Більш давні четвертинні відклади мають більші індекси віку, а молодші — менші. Слід зазначити, що палеодозиметр може накопичувати та зберігати вікову інформацію протягом тривалого часу [Prylypko & Alpert 2019]. Вік відкладів визначається як відношення еквівалентної дози до річної потужності дози [Liritzis *et al.* 2013]. Еквівалентна доза вимірює загальне опромінення радіоактивністю, отриманою зразком за час перебування в породі. Потужність дози — річна швидкість опромінення.

Оптично стимульована люмінесценція використовується для визначення віку кам'яних знарядь, артефактів і кераміки, яка була обнулена в печах при виготовленні виробу [Gleilich *et al.* 2005].

Поділивши зафіксовану накопичену енергію на природну радіоактивність породи, одержуємо результат, який характеризує вік зразка.

Таким чином TL-метод надає досить точні результати не тільки стосовно віку, а і в плані послідовності накопичення та кореляції четвертинних відкладів.

Робота виконана з метою вдосконалення TL-методу, спрощення камеральної обробки як відібраних зразків, так і в напрямку можливого розширення меж застосування TL-методу, збільшення вікових інтервалів тощо.

Дана робота сприяє спрощенню проведення геохронологічних розрахунків, поглибленню стратиграфічних висновків при аналізі опорних розрізів та при проведенні широких кореляцій, встановленні стратиграфічної послідовності горизонтів і відкладів. Також завданням статті є встановлення і внесок в розрахунки віку відкладів різних факторів, таких як: вплив альфа, бета та гамма-випромінювання на формування прогенетичної світлосуми в породі, нівеляції радіоактивності під впливом зовнішніх факторів, пов'язаних із температурним режимом, сонячною радіацією, вологістю та привнесенням радіоактивних елементів у ґрунт.

Результати нашого дослідження можуть бути використані для геохронологічного розчленування антропогенових (четвертинних) відкладів, їх кореляції та стратифікації.

Основною метою даної статті є пропозиція нового математичного підходу до визначення віку четвертинних відкладів термолюмінесцентним методом.

Визначення віку відкладів є одним із найскладніших завдань геології. Це допомагає нам досліджувати й аналізувати складні геологічні процеси та їхню закономірність і послідовність. Детальне вивчення та аналіз стратиграфічної будови відкладів в розрізах вимагає застосування різних фізичних та математичних підходів, які допомагають охарактеризувати леси, викопні ґрунти та інші типи порід. Слід зазначити, що деякі фізико-математичні методи використовуються для визначення віку, що вказує на період формування та відкладення досліджуваних відкладів [Gozhyk *et al.* 2014; Komar *et al.* 2022].

Визначивши вік, ми можемо досліджувати різні розрізи, проводити кореляції між віддаленими територіями та досліджувати процеси, що відбувалися на цих ділянках. Коли встановлені процеси на досліджуваних ділянках ідентичні процесам, що відбуваються в інших досить віддалених регіонах, ми можемо впевнено їх спів- вставляти. На рис. 1 представлений класичний четвертинний розріз середнього Придніпров'я Максимівка.

Рис. 1. Класичний четвертинний розріз (Максимівка).

Fig. 1. A classic Quaternary section (Maksymivka).

Математична модель

Важливим завданням при визначенні віку четвертинних відкладів TL-методом є точний розрахунок значення T (T–параметр віку). Слід зазначити, що значення цього вікового параметру прямо пропорційне часу формування досліджуваних відкладів.

Віковий параметр визначається наступною формулою: $T = \frac{D}{P}$,

де T — час, D — доза накопичена зразком, P — річна доза.

Припустимо, що альфа, бета та гамма-випромінювання радіонуклідів протягом усього періоду захоронення відкладів утворюють структурні дефекти з постійною швидкістю — $V_{\alpha,\beta,\gamma}$, які здатні випромінювати кванти світла при нагріванні.

Слід зазначити, що швидкість утворення радіаційних дефектів визначається за наступною математичною формулою:

$$V_{\alpha,\beta,\gamma} = \beta \cdot E, \quad (1)$$

де величина $ß$ — дозова чутливість досліджуваного мінералу, величина E — це потужність експозиційної дози альфа, бета та гамма-випромінювання.

Припустимо, що швидкість анігіляції є пропорційною n — концентрації електронів у кварці в даний момент часу:

$$V_A = k \cdot n, \quad (2)$$

де V_A – швидкість анігіляції, k — константа швидкості анігіляції локалізованих електронів або коефіцієнт пропорційності.

Швидкість утворення радіаційних дефектів $V_{\alpha,\beta,\gamma}$ дорівнює швидкості їх анігіляції:

$$V_{\alpha,\beta,\gamma} = V_A. \quad (3)$$

Якщо у виразах (1) та (2) рівні ліві частини, то звідси випливає, що будуть рівні і праві частини, тобто:

$$\beta \cdot E = k \cdot n. \quad (4)$$

У випадку насичення швидкість утворення радіаційних дефектів буде дорівнювати швидкості їх анігіляції. Слід зауважити, що при насиченні концентрація локалізованих електронів позначається через N. Тоді формула (4) матиме наступний вигляд (5):

$$\beta \cdot E = k \cdot N. \quad (5)$$

Тепер із рівняння (5) виражаємо константу швидкості накопичення, використовуючи концентрацію N локалізованих електронів при насиченні:

$$k = \frac{\beta \cdot E}{N}. \quad (6)$$

Враховуючи, що n — концентрація локалізованих електронів у кварці, швидкість зміни концентрації локалізованих електронів буде дорівнювати першій похідній від концентрації локалізованих електронів та буде визначатися як різниця швидкості утворення радіаційних дефектів в об'ємі та швидкості їх анігіляції. Використовуючи формули (1), (2) та (6), маємо:

$$\frac{dn}{dt} = V_{\alpha,\beta,\gamma} - V_A = \beta \cdot E - \frac{\beta \cdot E}{N} \cdot n. \qquad (7)$$

Через вираз $\frac{dn}{dt}$ позначено похідну від концентрації локальних електронів n.

Тобто, ми отримали диференціальне рівняння першого порядку з відокремленими змінними, розв'язавши яке, ми отримуємо рівняння для визначення віку гірської породи. Розв'язуємо диференціальне рівняння (7):

$$\frac{dn}{dt} = \beta \cdot E - \frac{\beta \cdot E}{N} \cdot n \,.$$

$$\frac{dn}{\beta \cdot E - \frac{\beta \cdot E}{N} \cdot n} = dT.$$

Далі інтегруємо рівняння:

$$T = \int \frac{dn}{\beta \cdot E - \frac{\beta \cdot E}{N} \cdot n} = \left| \begin{matrix} \beta \cdot E - \frac{\beta \cdot E}{N} \cdot n = z \\ dn = \frac{N}{\beta \cdot E} dz \end{matrix} \right| = \int \frac{N}{\beta E} \cdot \frac{1}{z} dz = \frac{N}{\beta E} \ln \left| \beta E - \frac{\beta E}{N} \cdot n \right|. \qquad (8)$$

Слід зазначити, що верхня границя інтегралу — це накопичена концентрація локалізованих електронів (центрів світіння), а нижня границя інтегралу — це залишкова концентрація електронів після відбілювання.

Далі ми беремо верхню границю інтегралу n_0 та нижню границю інтегралу $n_{\min}$ таким чином:

$$T = \frac{N}{\beta \cdot E} \left[\ln \left(\beta \cdot E - \beta \cdot E \cdot \frac{n_{\min}}{N} \right) - \ln \left(\beta \cdot E - \beta \cdot E \cdot \frac{n_0}{N} \right) \right] = \frac{N}{\beta \cdot E} \ln \frac{1 - \frac{n_{\min}}{N}}{1 - \frac{n_0}{N}}. \qquad (9)$$

$$T = \frac{N}{\beta \cdot E} \ln \frac{1 - \frac{n_{\min}}{N}}{1 - \frac{n_0}{N}}. \qquad (10)$$

Далі отримуємо рівняння (10) придатне для визначення віку відкладів.

Висновки

У цій роботі розглянуто деякі теоретичні положення термолюмінесцентного методу. Нами підкреслено, що метод термолюмінесценції є ефективним та точним при встановленні віку гірських порід і мінералів в діапазоні від кількох тисяч років до 600 і більше тисяч років. Даний метод вимірює енергію, накопичену в мінералі, що був «відбілений» в процесі свого формування.

Нам потрібно знати, які процеси відбувалися на досліджуваній території, послідовність накопичення лесово-ґрунтових відкладів, для розуміння тривалої геологічної історії.

Нами запропоновано новий математичний підхід до визначення віку четвертинних відкладів термолюмінесцентним методом. Підкреслено, що метод може бути застосований для визначення віку та проведення кореляційних побудов між неоплейстоценовими відкладами різних віддалених районів.

Нами також запропоновано детальне виведення формули для встановлення вікового параметра T, виходячи з річної дози, швидкості утворення радіаційних дефектів та швидкості анігіляції.

Наш новий математичний підхід допомагає встановити геологічну історію формування відкладів.

Нарешті нами зазначено, що термолюмінесцентне датування є ефективним і точним методом для вивчення антропогенових відкладів.

Подяки

Робота виконана у рамках наукової бюджетної теми № 1030 «Розробка та апробація стратиграфічної моделі осадових басейнів палеогену, неогену та квартеру України». Автори вдячні рецензентам рукопису за важливі зауваження, поради й коментарі.

References

Bøtter-Jensen, L., E. Bulur, G. A. T. Duller, A. S. Murray. 2000. Advances in luminescence instrument systems. *Radiation Measurements,* **32**: 523–528.

Gozhik, P., M. Komar, M. Łanczont, S. Fedorowicz, A. Bogucki, [et al.]. 2014. Paleoenvironmental history of the Middle Dnieper Area from the Dnieper to Weichselian Glaciation: A case study of the Maksymivka loess profile. *Quaternary International*, **334–335**: 94–111.

Greilich, S., G. A. Glasmacher, G. A. Wagner. 2002. Spatially resolved detection of luminescence: a unique tool for archaeochronometry. *Naturwissenschaften,* **89**: 371–375.

Greilich, S., G. A. Glasmacher, G. A. Wagner. 2005. Optical dating of granitic stone surfaces. *Archaeometry,* **47** (3): 645–665.

Komar, M., O. Krokhmal, K. Derevska, M. Łanczont, P. Mroczek, [et al.]. 2022. Środowisko i klimat w dolinie Dolnego Dniepru w czasie MIS 64–12 na podstawie danych paleontologicznych. *In:* J. Skurzyński, Z. Jary, M. Błaszkiewicz (red.). *Późnoczwartorzędowe środowiska sedymentacyjne Pomorza Wschodniego (*XXVII Konferencja Naukowo-Szkoleniowa Stratygrafia Plejstocenu Polski, Stara Kiszewa, IGiRR UW), Wrocław, 129–131.

Liritzis, I., A. Vafiadou, N. Zacharias, G. S. Polymeris, R. G. Bednarik. 2013. Advances in surface luminescence dating: new data from selected monuments. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry,* **13** (3): 105–115.

Prylypko, S. K., S. I. Alpert. 2019. Mathematical model of the dynamics of accumulation light sum in subareal deposits. *Ideas and innovations in geosciences* (Conference Proceedings). Kyiv, 90–91.

Singhvi, A. K., V. Mejdahl. 1985. Thermoluminescence dating of sediments. *Nuclear Tracks and Radiation Measurements,* **10** (1-2): 137–161.

GEO&BIO

2023 • vol. 24, pp 166–172
https://doi.org/10.53452/gb2411

Determination of factors of maximum influence on the occurrence of fires in conditions of limited *a priori* information in the war zone in the east of Ukraine

Olga Butenko, Anna Topchiy

National Aerospace University 'Kharkiv Aviation Institute' (Kharkiv, Ukraine)

article info

key words

Ecology, wildfire, warfare influence, monitoring, factors, algorithm.

correspondence to

Anna Topchiy; National Aerospace University 'Kharkiv Aviation Institute,' 17 Chkalova Street, Kharkiv, 61070 Ukraine;
Email: a.topchiy@khai.edu;
orcid: 0000-0003-0448-4543

article history

Submitted: 27.05.2023. Revised: 29.06.2023. Accepted: 30.06.2023

cite as

Butenko, O., Topchiy, A. 2023. Determination of factors of maximum influence on the occurrence of fires in conditions of limited a priori information in the war zone in the east of Ukraine. *GEO&BIO*, **24**: 166–172. [In English, with Ukrainian summary]

abstract

The expediency of using the inverted Floyd–Warshall algorithm for a deeper study of factors of maximum influence on the occurrence and development of fires in the war zones of Donetsk and Lugansk oblasts is shown. It relates to the fact that fire is one of the important parameters of the monitoring system that affects the ecological situation in the region. However, in the absence of a priori information about fires and hostilities, the formation of a set of factors influencing the occurrence and development of fires in the region is a laborious process. The primary assessment of a priori information allows generalising and averaging the factors that influence the occurrence of fires in these regions. The inverted Floyd–Warshall algorithm is a simple algorithm to implement, although to eliminate errors in mathematical calculations and to form adjacency matrices, a program code was developed in the Python programming language. Using the built-in visualisation software tools, a weighted oriented graph of factors influencing fires was built; the weights of these factors, determined at the initial stage, are also indicated on the edges of the graph. An adjacency matrix has been compiled, which contains information about the presence or absence of links between graph vertices. The factors of maximum influence on the occurrence and development of fires in Donetsk and Lugansk oblasts are determined, considering the specifics of the area and the results of hostilities. The results of the algorithm confirmed that hostilities create a fire hazard situation in the region. Due to the lack of a complete set of data, it becomes almost impossible to obtain results of mathematical calculations that are more accurate, since open-source data cannot provide errorless data on hostilities. For the same reason, the study area is not divided into separate segments in order to obtain more accurate results of mathematical calculations for each segment. Despite this, the software implementation of the inverted Floyd–Warshall algorithm is a universal method for solving the problem of finding and selecting factors of maximum and minimum influence on the occurrence of fires in environmental monitoring issues.

© 2023 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.

Визначення факторів максимального впливу на виникнення пожеж в умовах обмеження апріорної інформації у зоні бойових дій на сході України

Ольга Бутенко, Анна Топчий

Резюме. З метою глибшого вивчення факторів максимального впливу на виникнення та розвиток пожеж на території Донецької та Луганської областей у зоні бойових дій показано доцільність використання інвертованого алгоритму Флойда-Уоршелла. Це пов'язано з тим, що пожежа є одним із важливих параметрів системи моніторингу, що впливає на екологічну ситуацію регіону. Однак, в умовах браку апріорної інформації про пожежі та бойові дії формування набору факторів, що впливають на виникнення та розвиток пожеж у регіоні, є трудомістким процесом. Первинна оцінка апріорної інформації дозволяє узагальнити та усереднити фактори, що впливають на виникнення пожеж в областях. Інвертований алгоритм Флойда-Уоршелла є простим алгоритмом для реалізації, однак для виключення помилок у математичних розрахунках та формуванні матриць суміжності було розроблено програмний код мовою програмування Python. За допомогою вбудованих програмних інструментів візуалізації побудовано зважений орієнтований граф факторів впливу на пожежі, ваги цих факторів, визначені на початковому етапі, також вказані на ребрах графа. Складено матрицю суміжності, що містить інформацію про наявність чи відсутність зв'язків між вершинами графа. Визначено фактори максимального впливу на виникнення та розвиток пожеж у Донецькій та Луганській областях з урахуванням специфіки місцевості та внаслідок бойових дій. Результати алгоритму підтвердили, що військові дії створюють пожежонебезпечну ситуацію в регіоні. Через відсутність повного набору даних отримати точніші результати математичних обчислень стає практично неможливим, оскільки дані відкритих джерел не можуть надати точні дані про бойові дії. Досліджувана територія з цієї причини не розбита на окремі сегменти для отримання більш точних результатів математичних обчислень для кожного сегмента. Незважаючи на це програмна реалізація інвертованого алгоритму Флойда-Уоршелла є універсальним методом вирішення задачі пошуку та вибору факторів максимального та мінімального впливу на виникнення пожеж у задачах екологічного моніторингу.

Ключові слова: екологія, пожежі в природі, вплив бойових дій, моніторинг, фактори, алгоритм.

Адреса для зв'язку: А. Топчий; Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», вул. Чкалова, 17, Харків, 61070 Україна; Email: a.topchiy@khai.edu; orcid: 0000-0003-0448-4543

Introduction

Fires are a key factor in damage to the natural landscape and ecosystems [Johnstone *et al.* 2016; Molina *et al.* 2019; Zechuan *et al.* 2022]. Studies have shown that fires not only damage natural resources and ecosystems, but also have a harmful effect on human life [San-Miguel-Ayanz *et al.* 2013; Modugno *et al.* 2016; Argañaraz *et al.* 2017; Zechuan *et al.* 2022]. The annual increase in the number of fires emphasizes the need to study the spatial distribution and factors influencing their occurrence [Hering *et al.* 2009; Moreira *et al.* 2020; Twidwell *et al.* 2019; Zechuan *et al.* 2022]. The factors influencing the occurrence of fires are studied in [Avila-Flores *et al.* 2010; Oliveira *et al.* 2012; Guo *et al.* 2015; Zechuan *et al.* 2022] and show that fires are the result of the interaction of many factors, the weights of these factors are not the same in different ecosystems [Collins *et al.* 2015; Zechuan *et al.* 2022].

These factors covered four categories: climatic, topographic, vegetative, and anthropogenic [Ganteaume *et al.* 2013; Wu *et al.* 2021; Zechuan *et al.* 2022].

Climatic influence on the wind-water balance and fire heat exchange of forest combustible materials [Rollins *et al.* 2002; Xiao-Ying *et al.* 2013; Zechuan *et al.* 2022]. They also affect the moisture content of combustible materials during forest fires [Sharples *et al.* 2009; Zechuan *et al.* 2022]. The occurrence of fires is also closely related to climatic factors [Westerling *et al.* 2006; Zechuan *et al.* 2022]. In the context of the continuous development of the social economy and modern transport, the number of factors causing fires increases significantly [Archibald *et al.* 2009; Penman *et al.* 2012; Mundo *et al.* 2013]. One of the key factors is the human factor [Han *et al.* 2015; Guo *et al.* 2016; Guo

et al. 2016; Zechuan *et al.* 2022]. The human factor affects not only the occurrence of fires, but also their intensity, frequency, and distribution. The complexity and multiplicity of fire systems is due to the combined influence of various factors in different ecosystems [Sturtevant *et al.* 2007; Miranda *et al.* 2011; Wu *et al.* 2014; Zechuan *et al.* 2022].

The article considers and analyses the causes of fires in relation to the ecological system of the Donbass region. Due to the technogenic congestion, the ecological situation of the Donbass has always needed continuous monitoring, but in the conditions of hostilities, it can turn out to be catastrophic. Thus, monitoring and determining the factors of maximum and minimum impact on the occurrence of fires is an urgent task of environmental monitoring. Fire is one of the important parameters of the monitoring system that affects the ecological situation in the region.

The hostilities have led to the fact that part of the *a priori* information about fires has been lost and cannot be restored, the resumption of environmental monitoring is difficult due to active hostilities, and is impossible at all in the occupied territories. In the context of a shortage of the initial data set for analysis, the use of Earth remote sensing (ERS) data and methods of mathematical analysis and mathematical modelling is relevant. In this paper, the factors of fire occurrence in the territory of Donetsk and Lugansk oblasts are determined, based on which a graph with given weights and an adjacency matrix are built. The purpose of this work is the software implementation of the inverted Floyd–Warshall algorithm in the Python programming language to identify the factors of maximum and minimum impact on the occurrence of fires in the eastern part of Ukraine due to active hostilities.

General theoretical data

Typically, the Floyd–Warshall algorithm is used in logistics problems to find the shortest distance between individual delivery points. However, it can be adapted to find the factors of maximum influence by using its inverted form. In general, the Floyd-Warshall algorithm is a type of dynamic programming—a technique that eliminates inaccuracies by considering the solution to be obtained as interconnected solutions. This means that the solutions are formed from the solution obtained in the previous step, and there is more than one possible solution.

The initial data set for the implementation of the Floyd–Warshall algorithm is a matrix graph, and the result is the shortest path of all graph vertices [Chairi *et al.* 2016; Triana 2018]. The Floyd–Warshall algorithm compares all possible paths on a graph for each edge of all vertices. Suppose there is a graph G with vertices V, each numbered from *1* to n. Suppose there is also a shortest path function (u, v, k) that recovers the shortest path from u to v using only vertex 1 in k as an intermediate point. The goal of using this function is to find the shortest path from each vertex u to vertex v through intermediate node *1* to $k + 1$. The shortest path from u to v is calculated by the formula that is the basis of the algorithm:

$$d_{u,v}{}^{m} = min(\mathrm{d}_{\mathrm{u,m}}{}^{\mathrm{m-1}} + \mathrm{d}_{\mathrm{m,v}}{}^{\mathrm{m-1}}; \mathrm{d}_{\mathrm{u,v}}{}^{\mathrm{m-1}}), \qquad (1)$$

where u and v are the values of each element of the matrix, which are equal to the length of the shortest arc connecting vertex u with vertex v.

m is the order of the matrix.

If the indicated vertices in the graph are not connected by an edge, then

$$d^{0}(u, v) = \infty.$$

The process of determining the minimum distance using the Floyd–Warshall algorithm can be broken down into the following steps:

1. At the first iteration, each cell of the matrix is compared with the largest element of the pair—the distance between the two start points and the sum of the distance from the start point to the end point (target point = first iteration) and the distance from the start point (start point = first iteration) until the end point. In other words, $W[u, v] > W[u, k] + W[k, v]$.

2. The distance between the two start points is replaced by the sum of the distance from the start point to the end point (target point = first iteration) with the distance from the start point (start point = first iteration) to the end point ($W[u, k] + W[k, v]$).

3. If the first iteration fails, then the distance used is the distance between the two starting points ($W[u, v]$).

4. The iteration process is performed until the last iteration (the number of iterations = the total number of graph vertices) [Ayunita *et al.* 2017; Triana 2018].

Practical implementation of the inverted Floyd–Warshall algorithm for finding factors of maximum influence on the occurrence of fires

At the initial stage, to implement this algorithm and build a weighted directed graph, an analysis of the factors affecting the occurrence of fires in the territory of Donetsk and Lugansk oblasts caused by the active hostilities was carried out. Given the lack of *a priori* information, these factors were generalised and averaged (Fig. 1, Table 1). Each factor influencing the occurrence and development of a fire has its own weight [0, 1], where 0 is no effect, and 1 is direct effect (the weights are presented on the edges of a weighted directed graph).

Table 1. **Factors affecting the occurrence and development of a fire**

Таблиця 1. **Фактори, що впливають на виникнення та розвиток пожежі**

Vertex number	Factor	Vertex number	Factor
0	Active fighting	5	Power lines (PL)
1	Wind speed	6	Gas facilities
2	Forest	7	Combined heat and power plant
3	Residential development	8	Human factors
4	Railway infrastructure	9	Fire

The adjacency matrix D0 contains the values 0 and 1, which indicate whether there is a connection between the vertices of the graph. Considering the weights of the weighted directed graph, the matrix D1 is constructed based on the matrix D0.

$$D_1 = \begin{vmatrix} \infty & \infty & 0.3 & 0.8 & 0.6 & 0.7 & 0.9 & 0.9 & 0.4 & 1 \\ \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & 1 \\ \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & 1 \\ \infty & 0.2 & \infty & \infty & \infty & 0.3 & \infty & 0.3 & 0.3 & 1 \\ \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & 1 \\ \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & 1 \\ \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & 1 \\ \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & 1 \\ 0.2 & \infty & \infty & 0.3 & 0.2 & 0.2 & 0.2 & 0.4 & \infty & 1 \\ \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty \end{vmatrix}$$

where for software implementation ∞ is replaced by the text value *Inf*.

Using formula (1), the factors of minimal influence on the occurrence and development of fires were found, which are 0.2. The factors of minimal influence on the occurrence and development of fires include the presence of a residential area around the source of fire, the human factor, the presence of railway infrastructure, the presence of power lines and gas facilities.

As stated above, an inverted Floyd–Warshall algorithm is used to find the maximum influence factors. Thus, the final formula would be as follows:

$$(d_{u,v}{}^{m})_{max} = 1 - d_{u,m}{}^{m} \qquad (2)$$

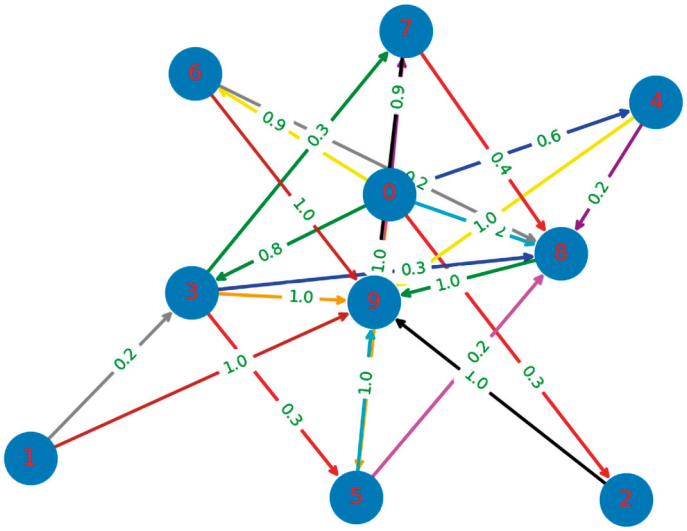


Fig. 1. Oriented graph with weights for the factors influencing the occurrence and development of fires in the territory of Donetsk and Luhansk oblasts caused by hostilities.

Рис. 1. Орієнтований граф із вагами для факторів впливу на виникнення та розвиток пожеж на території Донецької та Луганської областей внаслідок бойових дій.

Thus, according to formula (2), the factors of maximum influence on the occurrence and development of fires are 0.9, which include active hostilities, and the presence of active hostilities near gas facilities and combined heat and power plants brings a dangerous fire hazardous situation for the region, which affects the ecological condition as a whole.

The most important disadvantage, which may lead to inaccurate calculation results, is that the territory of Donetsk and Luhansk oblasts should be divided into smaller study areas, for which the algorithm should be implemented separately. In this case, for each smallest area there is a possibility to determine more precisely all factors of influence on the occurrence and development of fires in the region, considering the presence of fire-hazardous infrastructure. By having more accurate information on the battlefields in these truncated areas, more correct results can be obtained, confirming the difficulty of research in a data-poor environment.

Conclusions

In the course of this work, a practical implementation of the inverted Floyd–Warshall algorithm was carried out to identify the factors of maximum influence on the occurrence and development of fires in Donetsk and Luhansk oblast caused by the hostilities.

The results of the algorithm implementation in Python confirmed that the military activities create a fire hazardous situation in the region and are the factors of maximum influence on the occurrence and development of fires.

The implementation of the algorithm has time and memory complexity, but the main advantage is the ease of reconstructing the links between the vertices of the weighted oriented graph and the simplicity of implementation.

Despite the simplicity of the mathematical implementation of this algorithm, the Python programming language environment was chosen to eliminate calculation errors due to human error. The more influencing factors are involved in the calculations, the higher the probability of error occurrence at each iteration step becomes. However, the implemented Floyd–Warshall algorithm using the Python programming language is applicable for any number of factors, which makes the solution to the problem universal.

The disadvantage of the solution of the specified problem is the large area of research, generalisation of influence factors on the occurrence and development of fires in the entire territory.

With limited *a priori* information, it becomes almost impossible to obtain more accurate results from mathematical calculations, as open-source data cannot provide accurate battlefield data.

The study of factors influencing the occurrence of fires by various methods can be used as a tool for predicting their occurrence. This is useful for building decision rules in an emergency.

The main application of the algorithm is in various networks including transport, but has wide application for fire studies as well. For this reason, the inverted Floyd–Warshall algorithm was chosen for this issue.

Acknowledgments

The research was carried out as part of a post-graduate course at the National Aerospace University 'Kharkiv Aviation Institute' without financial support for the preparation of the article.

References

Ayunita, P., B. Pramono, L. Tajidun. 2017. Aplikasi Pencarian Rute Terpendek Apotek Di Kota Kendari Menggunakan Algoritma Floyd-Warshall. *SemanTIK*, Kendari, **3:** 9–16.

Archibald, S., D. P. Roy, B. W. van Wilgen, R. J. Scholes. 2009. What limits fire? An examination of drivers of burnt area in Southern Africa. *Global Change Biology*, USA, **15**: 613–630. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01754.x

Argañaraz, J. P., V. C. Radeloff, A. Bar-Massada, G. I. Gavier-Pizarro, C. M. Scavuzzo, L. M. Bellis. 2017. Assessing wildfire exposure in the Wildland–Urban Interface area of the mountains of central Argentina. *Journal of Environmental Management*, Heverlee, **196**: 499–510. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.058

Avila-Flores, D., M. Pompa-Garcia, X. Antonio-Nemiga, D. A. Rodriguez-Trejo, E. Vargas-Perez, J. Santillan-Perez. 2010. Driving factors for forest fire occurrence in Durango State of Mexico: A geospatial perspective. *Chinese Geographical Science*, Beijing, **20**: 491–497. https://doi.org/10.1007/s11769-010-0437-x

Chairi, A., L. Fanani, R. R. Mardi Putri. 2016. Rekomendasi Tempat Wisata Kota Malang Menggunakan Metode Profile Matching Dan Saran Rute Menggunakan Floyd Warshall Berbasis Android. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, Malang, **2**: 2060–2069.

Collins, K. M., O. F. Price, T. D. Penman. 2015. Spatial patterns of wildfire ignitions in south-eastern Australia. *International Journal of Wildland Fire, Wollongong*, **24**: 1098–1108. http://dx.doi.org/10.1071/WF15054

Ganteaume, A., A. Camia, M. Jappiot, J. San-Miguel-Ayanz, M. Long-Fournel, C. Lampin. 2013. A review of the main driving factors of forest fire ignition over Europe. *Environmental Management*, Heverlee, **51**: 651–662. https://doi.org/10.1007/s00267-012-9961-z

Guo, F., J. L. Innes, G. Wang, X. Ma, L. Sun, H. Hu, Z. Su. 2015. Historic distribution and driving factors of human-caused fires in the Chinese boreal forest between 1972 and 2005. *Journal of Plant Ecology*, Oxford, **8**: 480–490. https://doi.org/10.1093/jpe/rtu041

Guo, F., Z. Su, G. Wang, L. Sun, F. Lin, A. Liu. 2016. Wildfire ignition in the forests of southeast China: Identifying drivers and spatial distribution to predict wildfire likelihood. *Applied Geography,* Utah, **66**: 12–21. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.11.014

Guo, F., G. Wang, Z. Su, H. Liang, W. Wang, F. Lin, A. Liu. 2016. What drives forest fire in Fujian, China? Evidence from logistic regression and Random Forests. *International Journal of Wildland Fire*, Vancouver, **25:** 505–519. http://dx.doi.org/10.1071/WF15121

Han, J., Z. Shen, L. Ying, G. Li, A. Chen. 2015. Early post-fire regeneration of a fire-prone subtropical mixed Yunnan pine forest in Southwest China: Effects of pre-fire vegetation, fire severity and topographic factors. *Forest Ecology and Management*, Beijing, **356**: 31–40. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.06.016

Hering, A. S., C. L. Bell, M. G. Genton. 2009. Modeling spatio-temporal wildfire ignition point patterns. *Environmental and Ecological Statistics*, Texas, **16**: 225–250. https://doi.org/10.1007/s10651-007-0080-6

Johnstone, J. F., C. D. Allen, J. F. Franklin, L. E. Frelich, B. J. Harvey, [*et al.*]. 2016. Changing disturbance regimes, ecological memory, and forest resilience. *Frontiers in Ecology and the Environment*, Saskatoon, **14**: 369–378. https://doi.org/10.1002/fee.1311

Miranda, B. R., B. R. Sturtevant, S. I. Stewart, R. B. Hammer. 2011. Spatial and temporal drivers of wildfire occurrence in the context of rural development in northern Wisconsin, *International Journal of Wildland Fire*, USA, **21**: 141–154. http://dx.doi.org/10.1071/WF10133

Modugno, S., H. Balzter, B. Cole, P. Borrelli. 2016. Mapping regional patterns of large forest fires in Wildland–Urban Interface areas in Europe. *Journal of Environmental Management*, Heverlee, **172**: 112–126. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.013

Molina, J. R., M. A. Herrera, F. Rodríguez y Silva. 2019. Wildfire-induced reduction in the carbon storage of Mediterranean ecosystems: An application to brush and forest fires impacts assessment. *Environmental Impact Assessment Review,* Córdoba**, 76**: 88–97. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2019.02.008

Moreira, F., D. Ascoli, H. Safford, M. A. Adams, J. M. Moreno, J. M. C. Pereira, F. X. Catry, J. Armesto, W. Bond, M. E. González. 2020. Wildfire management in Mediterranean-type regions: Paradigm change needed. *Environmental Research Letters*, Porto, **15**: 151–162. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab541e

Mundo, I. A., T. Wiegand, R. Kanagaraj, T. Kitzberger. 2013. Environmental drivers and spatial dependency in wildfire ignition patterns of northwestern Patagonia. *Journal of Environmental Management*, Heverlee, **123**: 77–87. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.03.011

Oliveira, S., F. Oehler, J. San-Miguel-Ayanz, A. Camia, J. M. C. Pereira. 2012. Modeling spatial patterns of fire occurrence in Mediterranean Europe using Multiple Regression and Random Forest. *Forest Ecology and Management,* Beijing, **275**: 117–129. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.03.003

Penman, T. D., R. A. Bradstock, O. Price. 2012. Modelling the determinants of ignition in the Sydney Basin, Australia: Implications for future management. *International Journal of Wildland Fire*, Melbourne, **22**: 469–478. https://doi.org/10.1071/WF12027

Rollins, M. G., P. Morgan, T. Swetnam. 2002. Landscape-scale controls over 20th century fire occurrence in two large Rocky Mountain (USA) wilderness areas. *Landscape Ecology*, Arizona, **17**: 539–557. https://doi.org/10.1023/A:1021584519109

San-Miguel-Ayanz, J., J. M. Moreno, A. A. Camia. 2013. Analysis of large fires in European Mediterranean landscapes: Lessons learned and perspectives. *Forest Ecology and Management*, Beijing, **294**: 11–22. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.050

Sharples, J. J. 2009. An overview of mountain meteorological effects relevant to fire behavior and bushfire risk. *International Journal of Wildland Fire*, Vancouver, **18**: 737–754. http://dx.doi.org/10.1071/WF08041

Sturtevant, B. R., D. T. Cleland. 2007. Human and biophysical factors influencing modern fire disturbance in northern Wisconsin. *International Journal of Wildland Fire,* Wollongong, **16**: 398–413. https://doi.org/10.1071/WF06023

Triana Yaya Sudarya. 2018. Implementation Floyd-Warshall Algorithm for the Shortest Path of Garage, *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, Jakatra, **3**: 871–878

Twidwell, D., C. L. Wonkka, H.-H. Wang, W. E. Grant, C. R. Allen, [*et al.*]. 2019. Coerced resilience in fire management. *Journal of Environmental Management*, Nebraska, **240**: 368–373. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.073

Westerling, A. L., H. G. Hidalgo, D. R. Cayan, T. W. Swetnam. 2006. Warming and earlier spring increase western US forest wildfire activity. *Science*, California, **313**: 940–943. https://doi.org/10.1126/science.1128834

Wu, Z., H. S. He, J. Yang, Z. Liu, Y. Liang. 2014. Relative effects of climatic and local factors on fire occurrence in boreal forest landscapes of northeastern China. *Science of The Total Environment*, Kentucky, **493**: 472–480. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.011

Wu, Z., M. Li, B. Wang, Y. Quan, J. Liu. 2021. Using artificial intelligence to estimate the probability of forest fires in Heilongjiang, northeast China. *Remote Sensing*, Harbin, **13**: 115–134. https://doi.org/10.3390/rs13091813

Xiao-Ying, W., Z. Chun-Yu, J. Qing-Yu. 2013. Impacts of climate change on forest ecosystems in Northeast China. *Advances in Climate Change Research,* Shenyang, **4**: 230–241. https://doi.org/10.3724/SP.J.1248.2013.230

Zechuan, Wu, L. Mingze, B. Wang, T. Yuping, Q. Ying, L. Jianyang. 2022. Analysis of Factors Related to Forest Fires in Different Forest Ecosystems in China, *Forests*, Harbin, **13**: 15–25. https://doi.org/10.3390/f13071021

GEO&BIO

2023 • vol. 24, pp 173–182
https://doi.org/10.53452/gb2412

The structure of earthworm communities in urbanised biotopes of the Central Polissia

Oleksandr Harbar[1], Viktoriia Moroz[1], Diana Harbar[1], Lyubov Voronchuk[2], Nadia Danylovska[2]

[1] Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)
[2] Cherniakhiv Lyceum No. 1 (Chernyakhiv, Ukraine)

article info

key words
Lumbricidae, biodiversity, urbanisation, biotope, remote sensing.

correspondence to
Oleksandr Harbar; Zhytomyr Ivan Franko State University, 40 Velyka Berdychivska Street, Zhytomyr, 10008 Ukraine;
Email: o.v.harbar@gmail.com;
orcid: 0000-0003-4357-4525

article history
Submitted: 21.02.2023. Revised: 21.06.2023. Accepted: 30.06.2023

cite as
Harbar, O., V. Moroz, D. Harbar, L. Voronchuk, N. Danylovska. 2023. The structure of earthworm communities in urbanised biotopes of the Central Polissia. *GEO&BIO*, **24**: 173–182. [In Ukrainian, with English summary]

abstract

The article describes the results of the impact of urbanisation on the quantitative and qualitative structure of earthworm communities, since urbanisation is currently one of the main threats to biodiversity. Earthworms, as the most common representatives of the edaphic mesofauna, react sensitively to the level of environmental pollution. On the example of the city of Cherniakhiv, it has been established that the lumbricide fauna of the studied area includes eight species: Aporrectodea caliginosa (Savigny, 1826), A. rosea (Savigny, 1826), A. trapezoides (Dugesi, 1828), Lumbricus terrestris (Linnaeus, 1758), L. castaneus (Savigny, 1826), Octolasion lacteum (Örley, 1885), Eisenia fetida (Savigny, 1826), and Dendrobaena octaedra (Savigny, 1826). All detected worms are rather unevenly represented in the analysed samples. Background species in the study area are A. caliginosa, A. rosea, and L. terrestris. According to the analysis of the relative abundance in the samples, A. caliginosa is dominant, whereas A. rosea and O. lacteum are less common. According to the results of the spatial distribution of earthworms, a clear dominance of one species was noted in agrocoenoses and in areas with a significant recreational load, whereas in a less anthropogenically transformed zone a higher number and species diversity of lumbricides was noted. Using cluster analysis of k-means according to biodiversity estimates, two clusters of samples were selected. At the same time, such parameters as the number of species, the number of individuals in the sample, and the Brillouin index make the greatest contribution to the differentiation of clusters. A reliable correlation was found between the number of individuals in the sample and the reflectivity in the B8 band range, as well as between the indicator of the evenness of the grouping structure and the reflectivity in the B4, B5, B11, and B12 bands of the Sentinel-2 space image and the value of the NDVI vegetation index. These spectral characteristics were used to model the spatial distribution of the absolute number of lumbricides and the evenness of their groups. The model of the spatial distribution of the number of earthworms has a mosaic character: individual cells with a high number of lumbricides are replaced by areas where they are less abundant. There is a certain relationship between individual estimates of earthworm biodiversity and land cover spectral characteristics.

© 2023 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.

Структура угрупувань дощових червів в урбанізованих біотопах Центрального Полісся

Олександр Гарбар, Вікторія Мороз, Діана Гарбар, Любов Ворончук, Надія Даниловська

Резюме. У статті описано результати впливу урбанізації на кількісну та якісну структуру комплексів дощових червів, оскільки урбанізація на теперішній час є основною загрозою для біорізноманіття. Дощові черви, як найпоширеніші представники едафічної мезофауни, чутливо реагують на рівень забруднення середовища. На прикладі смт Черняхова встановлено, що фауна люмбрицид досліджуваної території налічує вісім видів: *Aporrectodea caliginosa* (Savigny, 1826), *A. rosea* (Savigny, 1826), *A. trapezoides* (Dugesi, 1828), *Lumbricus terrestris* (Linnaeus, 1758), *L. castaneus* (Savigny, 1826), *Octolasion lacteum* (Örley, 1885), *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) та *Dendrobaena octaedra* (Savigny, 1826). Усі виявлені черви досить нерівномірно представлені у проаналізованих вибірках. Фоновими видами на досліджуваній території є *A. caliginosa*, *A. rosea* та *L. terrestris*. За аналізом відносної чисельності у вибірках домінантом є *A. caliginosa*, рідше — *A. rosea* та *O. lacteum*. За результатами просторового розподілу дощових червів відмічено явне домінування одного виду в агроценозах та на ділянках зі значним рекреаційним навантаженням, у менш антропогенно-трансформованій зоні — вища чисельність і видова різноманітність люмбрицид. У результаті кластерного аналізу к-середніх за оцінками біорізноманіття виділено два кластери вибірок. При цьому найбільший внесок у диференціацію кластерів роблять такі параметри як число видів, число особин у вибірці та індекс Бріллуіна. Виявлено достовірну кореляцію між числом особин у вибірці та відбивною здатністю у діапазоні смуги B8, а також між показником вирівненості структури угрупувань та відбивною здатністю у діапазонах смуг B4, B5, B11, B12 космічного знімка Sentinel-2 та значенням вегетаційного індексу NDVI. Дані спектральні характеристики використано з метою моделювання просторового розподілу абсолютної чисельності люмбрицид та вирівненості їх угруповань. Модель просторового розподілу чисельності дощових червів має мозаїчний характер — окремі осередки високої чисельності люмбрицид змінюються ділянками зниженої їх чисельності. Існує певний зв'язок між окремими оцінками біорізноманіття дощових червів та спектральними характеристиками земного покриву.

Ключові слова: Lumbricidae, біорізноманіття, урбанізація, біотоп, дистанційне зондування.

Адреса для зв'язку: Олександр Гарбар; Житомирський державний університет імені Івана Франка; вул. Велика Бердичівська 40, Житомир, 10008 Україна; Email: o.v.harbar@gmail.com; orcid: 0000-0003-4357-4525

Вступ

Протягом останніх десятиліть однією з важливих екологічних проблем є урбанізація, яка негативно впливає на компоненти та комплекси довкілля, змінюючи фізико-хімічні властивості ґрунту та пов'язану з ним біоту [Mirzak 2002]. Урбанізація будучи найпотужнішою та помітною рушійною силою вважається основною причиною вимирання місцевих видів, що широко визнано основною загрозою для біорізноманіття [Alvey 2006; McKinney 2006; Glasstetter 2016].

Через антропогенний вплив під час процесу урбанізації міські ґрунти зазнають більшменш виражених порушень, включаючи ущільнення, деградацію, постійну зміну ґрунтового покриву та землекористування [Ooms *et al.* 2020]. Усі ці чинники змінюють якість та функції ґрунту, що призводить до деградації середовища проживання педобіонтів [Caruso *et al.* 2017].

Комплекси безхребетних ґрунтової фауни відіграють ключову роль у функціонуванні наземних екосистем. Одними з найпоширеніших компонентів едафону є дощові черви. На теперішній час найбільш вивченою та поширеною є родина Lumbricidae, представники якої особливо чисельні у Палеарктиці [Zhukov *et al.* 2007; Perel 1979]. Люмбрициди відіграють важливу роль у процесах і функціях едафотопу, проте небагато досліджень зосереджені на моделях їх угруповань у антропогенно-трансформованих системах, особливо, у міському середовищі з високим рівнем землекористування [Pouyat *et al.* 2015]. У багатьох дослідженнях показано ключову роль грунтових сапрофагів як первинних деструкторів рослинного опаду, а також установлено тісні зв'язки між функціонуванням населення безхребетних і родючістю ґрунту, продуктивністю і стійкістю екосистем [Stryganova 1980].

Дощові черви, порівняно з іншими безхребетними грунтової мезофауни, є найбільш чутливими до рівня забруднення середовища. Причинами цього є постійне перебування у грунтовому горизонті, висока проникність покривів тіла для токсичних з'єднань, живлення у середовищі з депонованими важкими металами та збільшений потік токсикантів у організм через низьку ефективність засвоєння поживи [Stryganova 1980; Sternik & Melnyk 2016].

За даними різних авторів [Mezhzherin *et al.* 2010; Yeliseeva & Vlasenko 2015; Caruso *et al.* 2017; Vlasenko *et al.* 2020; Congmou *et al.* 2020], на життєздатність дощових червів у міських екосистемах суттєво впливають властивості ґрунту, тривалість будівництва та якість середовища існування в житлових громадах. Динаміка зменшення біорізноманіття люмбрицид характерна територіям зі значним урбанізованим навантаженням (вплив діяльності промислових підприємств, АЗС, автомобільне завантаження, залізничні колії) [Sternik & Melnyk 2016].

Оскільки щільність, біомаса та різноманіття дощових червів схильні до зменшення з високою інтенсивністю урбанізації у міському середовищі [Smetak *et al.* 2007; Harbar *et al.* 2014; Xie *et al.* 2018], була висунута гіпотеза про те, що вищі значення таких показників можна спостерігати у біотопах з менш інтенсивним порушенням.

Елімінація комплексу педобіонтів приводить до уповільнення швидкості розкладання органічного матеріалу, нагромадження на поверхні грунту опаду та порушення циклів біогенів [Vsevolodova-Perel 1988; Maréchal *et al.* 2021]. Вплив урбанізації на угрупування дощових червів і середовища їх існування є актуальним завданням у дослідженнях з метою аналізу та прогнозування функціонування екосистем.

Мета дослідження полягала у вивченні впливу урбанізації на кількісну та якісну структуру комплексів дощових червів Центрального Полісся на прикладі смт. Черняхова Житомирської області.

Матеріал і методи

Об'єктами дослідження слугували власні збори дощових червів зібрані вручну в умовах польового експерименту у антропогенно-трансформованих біотопах на території смт Черняхова (Житомирська обл.). У якості дослідних ділянок обрано вторинні, слабко порушені ділянки суходільних лучних екосистем з однорідним мікрорельєфом і рослинністю. Збір матеріалу проводили восени 2022 року за методикою [Gilyarov 1975] методом розкопок і ручного розбирання проб грунту об'ємом 0,125 м^3. Даний метод є найбільш універсальним і технічно простим при роботі на ґрунтах з різним механічним складом і ступенем окультуреності. Загалом зібрано та опрацьовано 30 ґрунтових проб. Відбір проб виконувався до нижньої межі, де зустрічалися черви.

Відібраних червів промивали під проточною водою, промокали фільтрувальним папером, підсушували на повітрі та фіксували у 70–80% етиловому спирті і 4% формаліні з урахуванням рекомендацій [Stryganova 1980]. Видову приналежність встановлювали за загальноприйнятою методикою відповідно до рекомендацій [Perel 1979].

Дослідження кількісного та видового складу дощових червів проводилося на базі кафедри екології та географії Житомирського державного університету імені Івана Франка.

Для статистичного аналізу даних використано програмний пакет STATISTICA. Розрахунок оцінок біорізноманіття проведено з використанням програмного пакету PAST. З метою просторового аналізу та картографічного представлення даних застосовано програмні пакети SAGA та Q-GIS.

Результати та їх обговорення

За отриманими даними встановлено, що фауна дощових червів досліджуваної території налічує вісім видів належних до п'яти родів — Aporrectodea, Lumbricus, Octolasion, Eisenia та Dendrobaena родини Lumbricidae: *Aporrectodea caliginosa* (Savigny, 1826), *A. rosea* (Savigny, 1826), *A. trapezoides* (Dugesi, 1828), *Lumbricus terrestris* (Linnaeus, 1758), *L. castaneus* (Savigny, 1826), *Octolasion lacteum* (Örley, 1885), *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) та *Dendrobaena octaedra* (Savigny,

1826), які достатньо нерівномірно представлені у проаналізованих вибірках. Кожний із виявлених червів характеризується набором морфологічних пристосувань, які виникли у них до конкретних умов середовищ їх перебування у результаті тривалого природного добору.

Три види — *A. caliginosa*, *A. rosea* та *L. terrestris* є фоновими на досліджуваній території і представлені у більшості вибірок. Домінування в інших урбанізованих біотопах вищеозначених видів підтверджується і дослідженнями [Galko & Onyshchuk 2012; Pakhomov *et al.* 2013; Harbar *et al.* 2014; Sternik & Melnyk 2016; Vlasenko *et al.* 2020]. Це є очевидним, оскільки, за різними даними [Perel 1975; Perel 1979; Vsevolodova-Perel 1988; Zhukov *et al.* 2007], виявлені види є космополітами та мають широкі межі екологічної валентності, тому можуть населяти біоценози з різними умовами існування, включаючи ті, які піддаються урбанізації та антропогенному впливу.

На відміну від інших типів землекористування, біоценози міських парків зазнають антропогенних порушень через систематичний потік відвідувачів, які беззаперечно впливають на стан едафотопу. Тому важливо розуміти, як екологічні чинники у паркових зонах впливають на угрупування люмбрицид для сприяння збереженню едафічної фауни у міських середовищах, що частково відображено у працях [Caruso *et al.* 2017; Zhou & Tian 2018]. За нашими даними, на досліджуваній рекреаційній території парку достатньо чисельним виявився *O. lacteum* (до 12 особин у пробі), однак його популяція приурочена до більш вологих умов центральної частини паркової зони смт. Черняхова. За іншими даними [Pakhomov *et al.* 2013], навпаки, чисельність даного виду у зоні ботанічного саду (паркова зона), порівняно з іншими видами, є незначною. Такі розбіжності можуть бути пов'язані із різним ступенем вологості досліджуваних едафотопів, оскільки *O. lacteum* надає перевагу добре зволоженим ділянкам [Perel 1979].

Вид *E. fetida* виявлено лише у двох крайніх пунктах західної частини досліджуваної території (агроценоз) і тут він досягає досить значної чисельності (до 30 особин у пробі). Види *A. trapezoides*, *D. octaedra* та *L. castaneus* зустрічаються на цій території лише в окремих вибірках і не досягають високої чисельності (одиничні екземпляри). Зокрема, здебільшого, значна чисельність *D. octaedra* та *L. castaneus* у природно-географічній зоні Лісостепу відмічається у зонах мішаних і широколистяних лісів, оскільки вони є космополітами лісових ценозів, що підтверджують дані [Perel 1979; Zhukov *et al.* 2007].

Відомо [Galko & Onyshchuk 2012], що деякі види люмбрицид, для яких умови існування стали несприятливими, зникають в одних біотопах та зберігаються в інших, комплекс абіотичних умов у яких був сприятливішим для їх життєздатності. Це підтверджується і даними [Zhukov *et al.* 2007; Pakhomov *et al.* 2013], які характер динаміки угрупувань едафічних тварин пов'язують з їх екологічною структурою, яка є наслідком пристосування до умов середовища існування. Безхребетні, у тому числі люмбрициди, в умовах екологічного оптимуму проявляють високу стабільність чисельності та біомаси, при відхиленні умов — варіабельність відповідно збільшується. Тому зменшення чисельності *A. trapezoides*, *D. octaedra* та *L. castaneus* у досліджуваному агроценозі може бути цьому підтвердженням.

Аналіз відносної чисельності видів дощових червів у вибірках свідчить, що у більшості з них домінантом є *A. caliginosa*. При цьому є низка вибірок, у яких був присутній лише цей вид (у східній та південно-східній частині досліджуваної території). У кількох вибірках зі східної частини парку явним домінантом є *A. rosea* (до 85%), тоді як у центральній — домінує або співдомінує *O. lacteum* (до 50%) (Рис. 1). На відміну від нірників, власне грунтові форми якими і є вищеозначені види, характеризуються меншою чутливістю до цілісності грунтового покриву [Perel 1979; Zhukov *et al.* 2007].

У природному середовищі існують певні едафічні умови від відносно непорушених ґрунтів (ділянки залишків рослинності та парків) до повністю технічних, для яких характерна відсутність виражених горизонтів, мозаїчне забарвлення та висока щільність [Sternik & Melnyk 2016]. Як вважають [Tóth *et al.* 2020] такі різноманітні умови утворюють мозаїку ґрунтових середовищ існування з більш-менш сприятливими для підземної біоти умовами.

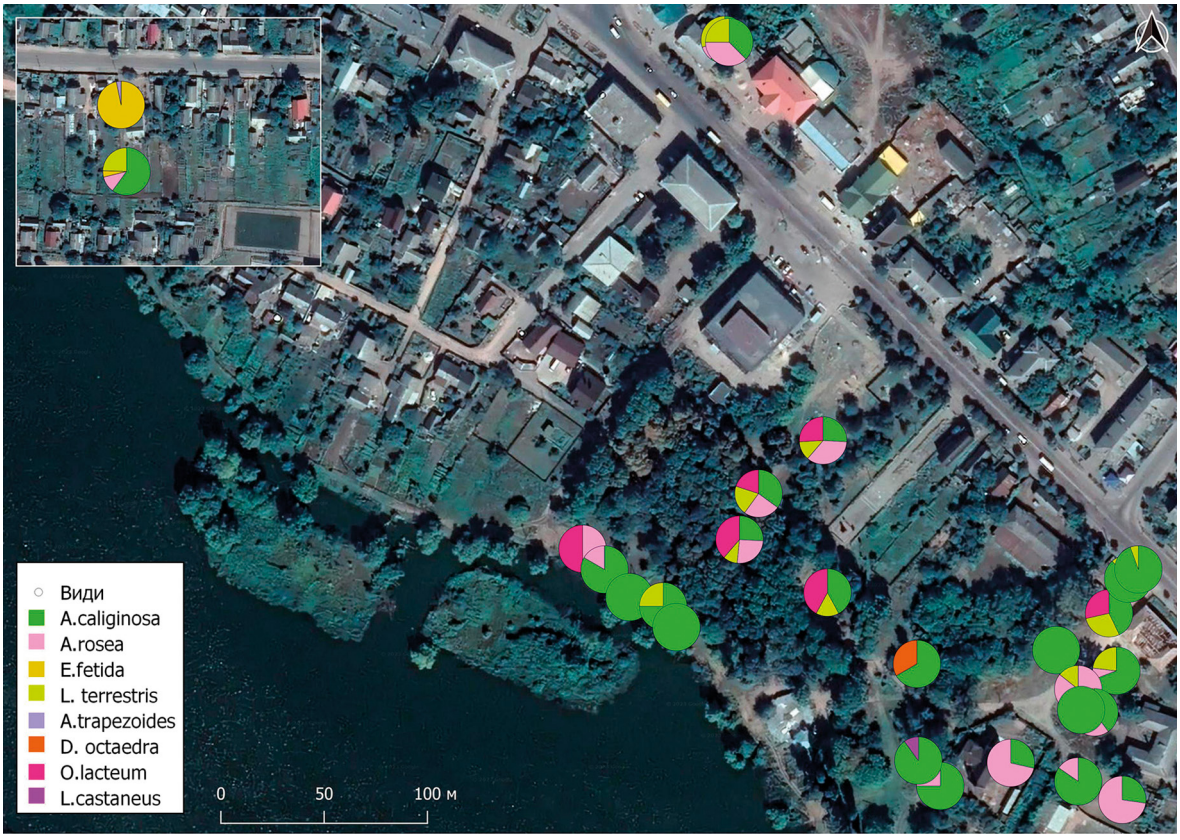


Рис. 1. Відносна видова чисельність дощових червів у вибірках (%).
Fig. 1. Relative species abundance of earthworms in the samples (%).

Виявлений просторовий розподіл дощових червів свідчить, що явне домінування одного виду спостерігається в агроценозах та на ділянках зі значним рекреаційним навантаженням (берег ставу). Рекреаційне навантаження на природні екосистеми включає пошкодження підстилки, витоптування рослинного покриву, ущільнення ґрунту, забруднення неорганічними та органічними речовинами. Сукупний вплив таких чинників призводить до рекреаційної дегресії біоценозів [Bezruchko 2009]. Зокрема, на ділянках з деградованою рослинністю відбуваються зміни у щільності населення дощових червів та їх таксономічній структурі [Zhou & Tian 2018]. А враховуючи дані [Lapied *et al.* 2009; Lavelle 1998] структура угрупування люмбрицид у природних екосистемах напряму залежить від гранулометричного складу ґрунтового середовища, кількості поживних речовин у ньому та типу рослинного покриву. Тому можна припустити, що домінування одного виду дощових червів на рекреаційно-завантажених ділянках є наслідком трансформації таких біоценозів унаслідок антропогенного впливу.

У природних умовах черви, ймовірно, піддаються одночасному впливу комбінацій антропогенного пресу, що може призвести до сильних негативних ефектів. Як правило, для таких сильно трансформованих біотопів характерна і низька загальна чисельність люмбрицид.

Проте за [Misyura & Zhukov 1995; Zhukov *et al.* 2007] угрупування педобіонтів мають високі адаптивні можливості для життєдіяльності в умовах трансформованого середовища. Стійкість комплексів мезофауни відображається на підтриманні синекологічних показників на постійному рівні, близькому до природних угрупувань. Це дає змогу угрупуванням безхребетним едафотопу виконувати свої функції у біогеоценозі навіть при достатньо високому ступені трансформації.

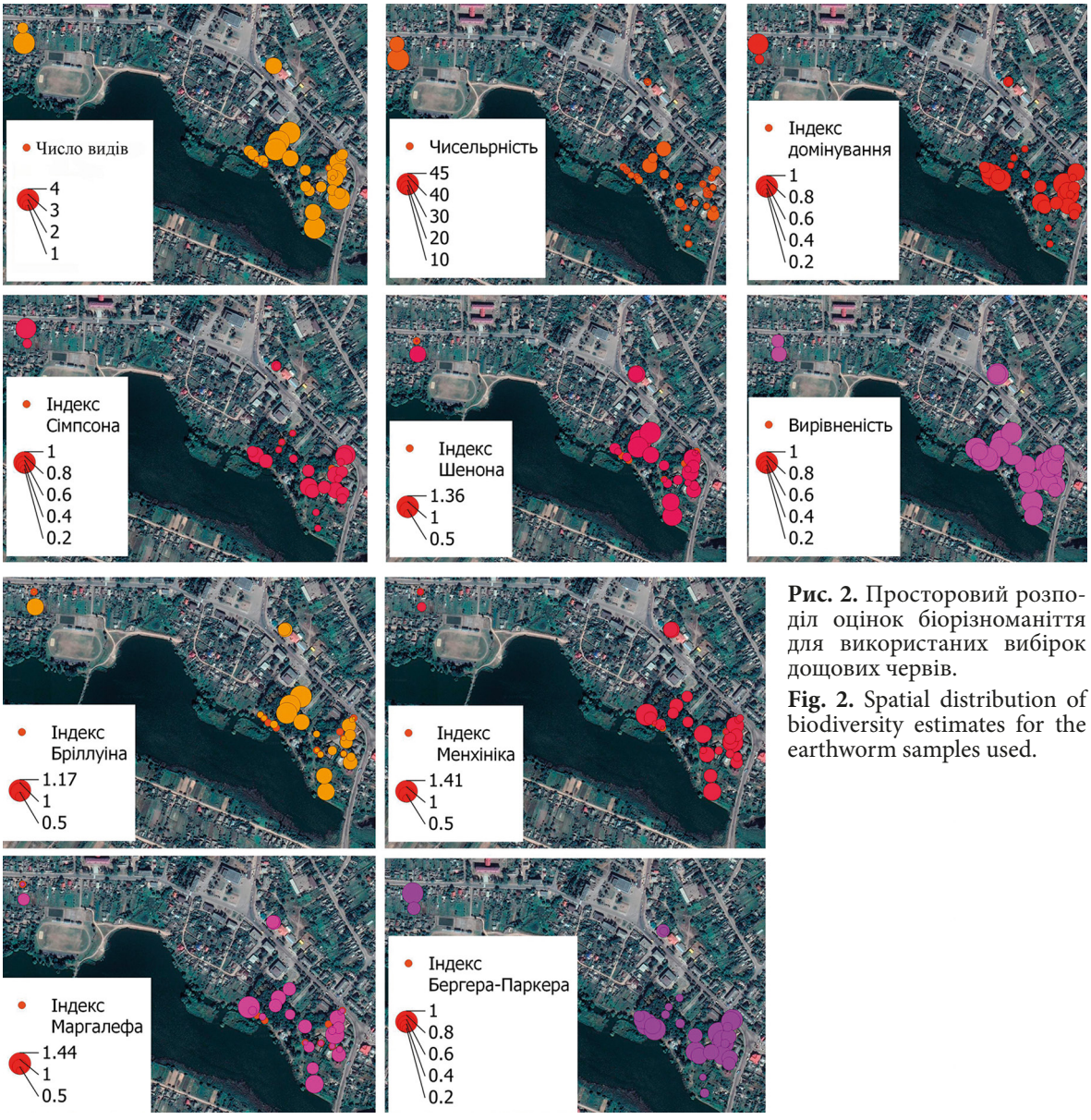


Рис. 2. Просторовий розподіл оцінок біорізноманіття для використаних вибірок дощових червів.

Fig. 2. Spatial distribution of biodiversity estimates for the earthworm samples used.

У менш антропогенно-трансформованій парковій зоні спостерігається вища чисельність (до 45 екз. у пробі) і видова різноманітність (до чотирьох видів у пробі) цих едафічних тварин та більш вирівнена структура угрупувань (рис. 2). Будучи важливими місцями для життєдіяльності ґрунтових безхребетних, біоценози міських парків із зеленими насадженнями підтримують угрупування дощових червів [Maréchal 2021]. Зона парку із незначним ступенем антропогенної трансформації за своїми умовами є більш-менш сприятливою для існування дощових червів, порівняно із зоною яка зазнала сильної антропогенної трансформації, тому висока чисельність та різноманітність люмбрицид на такій території є цілком очевидною.

Як видно з просторового розподілу виділених кластерів, до першого увійшли найбільш чисельні вибірки, у більшості випадків зі значною видовою різноманітністю та відносно вирівняною структурою угрупувань (рис. 3).

Для групування вибірок за оцінками біорізноманіття використано метод кластерного аналізу к-середніх, у результаті застосування якого виділено два кластери. Отримані результати доводять, що найбільший внесок у диференціацію кластерів роблять такі параметри як число

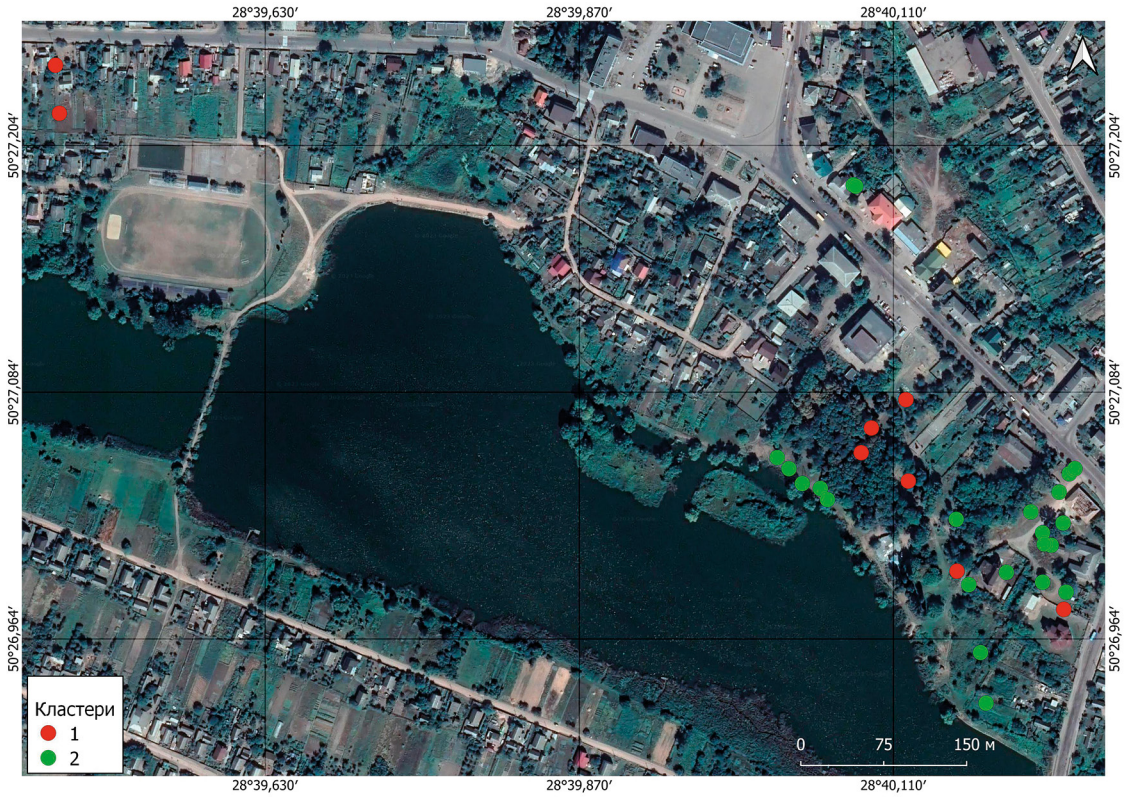


Рис. 3. Просторовий розподіл кластерів вибірок побудованих за оцінками біорізноманіття.
Fig. 3. Spatial distribution of clusters of samples constructed according to biodiversity estimates.

Таблиця 1. **Оцінки дисперсії показників біорізноманіття для двох кластерів**

Table 1. **Estimates of the dispersion of biodiversity indices for two clusters**

Показники	F	P
Число видів	12,21	**0,00**
Число особин	53,44	**0,00**
Індекс домінування	2,52	0,12
Індекс Сімпсона	2,52	0,12
Індекс Шеннона	4,30	0,05
Вирівненість	3,02	0,09
Індекс Бріллуіна	8,25	**0,01**
Індекс Менхініка	1,47	0,23
Індекс Маргалефа	0,48	0,49
Індекс Бергера-Паркера	2,24	0,15

видів (2,93 — кластер 1 та 2,13 — кластер 2), число особин у вибірці (15,00 та 13,75 відповідно) та індекс Бріллуіна (0,72 та 0,34 відповідно). За іншими параметрами достовірних відмінностей дисперсій не спостерігається (табл. 1) і значення середніх практично співпадають.

Для оцінки можливого впливу параметрів середовища на чисельність дощових червів та структуру угрупувань використано дані дистанційного зондування Землі (космічний знімок Sentinel-2, 18.08.2022 р.), оскільки різні частини спектру космічного знімка можуть надавати важливу інформацію про характеристики та стан рослинного покриву і біотопів. Усього в аналіз включено сім смуг космічного знімка та вегетаційний індекс NDVI, розрахований за смугами B4 та B8. Достовірна кореляція спостерігається між числом особин у вибірці та відбивною здатністю у діапазоні смуги знімка B8 а також між показником вирівненості структури угрупувань та відбивною здатністю у діапазонах смуг B4, B5, B11, B12 та значенням NDVI (табл. 2). Тому ці спектральні характеристики використано для моделювання просторового розподілу абсолютної чисельності дощових червів та вирівненості їх угрупувань (рис. 4).

З моделювання виключено окремі пункти моніторингу, які лежать на значній відстані від основного масиву і можуть негативно впливати на якість отриманої моделі. Моделювання просторового розподілу вирівненості структури угрупувань за спектральними характеристиками космічного знімка та за NDVI дає подібні результати (рис. 4, *1–2*). У цих двох випадках зона високих значень показника лежить, переважно, у центральній частині досліджуваної території, вкритої деревостаном (менш трансформовані біотопи).

Таблиця 2. **Кореляція оцінок біорізноманіття зі спектральною відбивною здатністю використаних смуг космічного знімка Sentinel-2 та вегетаційним індексом NDVI**

Table 2. **Correlation of biodiversity estimates with the spectral reflectance of the used bands of the Sentinel-2 space image and the vegetation index NDVI**

Показники біорізноманіття	Смуги Sentinel-2							NDVI
	B2	B3	B4	B5	B8	B11	B12	
Число видів	0,05	–0,05	0,01	0,02	–0,11	0,19	0,19	–0,04
Число особин	0,10	0,01	0,16	0,04	**–0,36**	0,11	0,17	–0,22
Індекс домінування	0,04	0,11	0,11	0,07	–0,06	–0,12	–0,09	–0,13
Індекс Сімпсона	–0,04	–0,11	–0,11	–0,07	0,06	0,12	0,09	0,13
Індекс Шеннона	–0,03	–0,12	–0,11	–0,08	0,03	0,10	0,09	0,12
Вирівненість	–0,33	–0,29	**–0,39**	**–0,36**	0,32	**–0,38**	**–0,42**	**0,43**
Індекс Бріллуіна	–0,04	–0,14	–0,10	–0,11	–0,04	0,09	0,08	0,09
Індекс Менхініка	–0,01	0,01	–0,09	0,04	0,25	0,16	0,07	0,16
Індекс Маргалефа	0,02	–0,01	–0,07	0,05	0,12	0,15	0,10	0,11
Індекс Бергера-Паркера	0,08	0,13	0,17	0,09	–0,15	–0,06	–0,03	–0,21

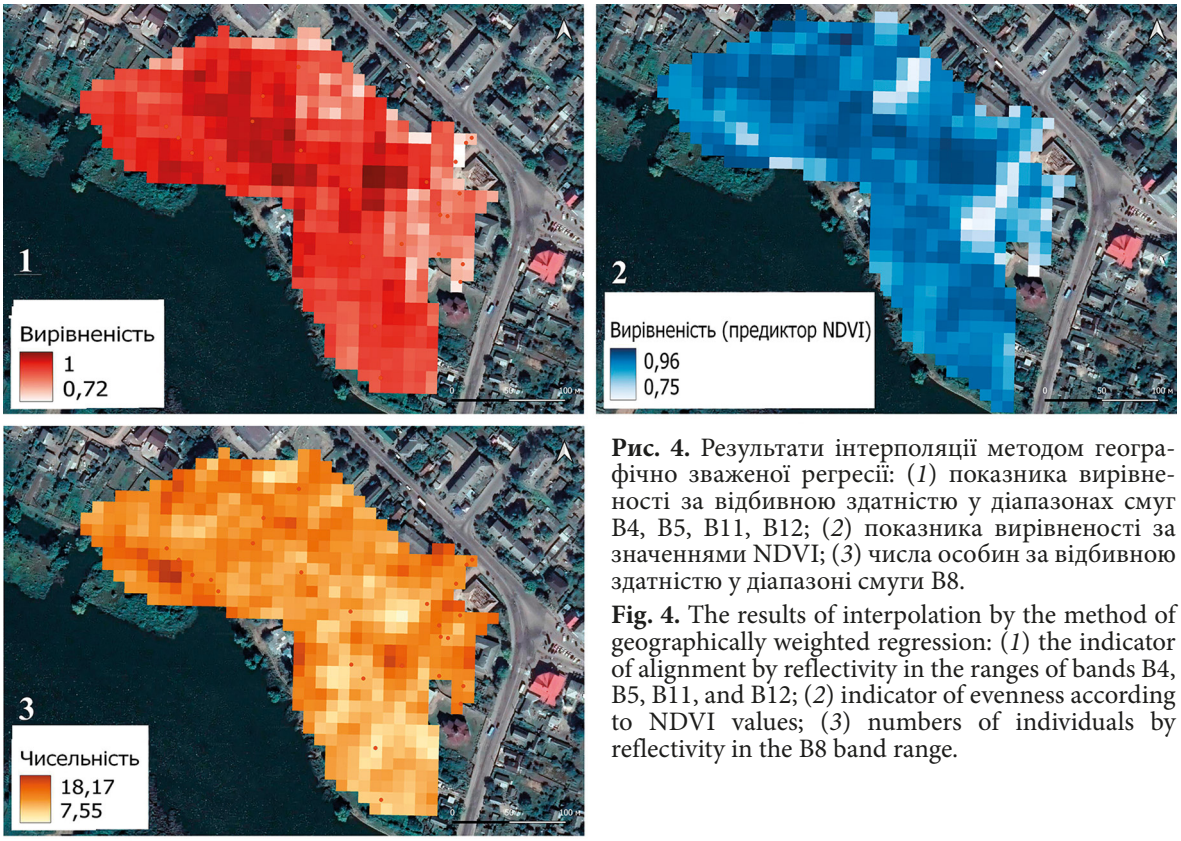


Рис. 4. Результати інтерполяції методом географічно зваженої регресії: (*1*) показника вирівненості за відбивною здатністю у діапазонах смуг B4, B5, B11, B12; (*2*) показника вирівненості за значеннями NDVI; (*3*) числа особин за відбивною здатністю у діапазоні смуги B8.

Fig. 4. The results of interpolation by the method of geographically weighted regression: (*1*) the indicator of alignment by reflectivity in the ranges of bands B4, B5, B11, and B12; (*2*) indicator of evenness according to NDVI values; (*3*) numbers of individuals by reflectivity in the B8 band range.

Моделювання просторового розподілу чисельності дощових червів дає більш мозаїчну картину, де окремі осередки високої чисельності цих тварин змінюються ділянками зниженої їх чисельності (рис. 4, *3*). Слід відмітити, що на окремих ділянках досліджуваної території дані цих трьох моделей виявляються добре узгодженими. Результати дослідження доводять наявність певного зв'язку між окремими оцінками біорізноманіття дощових червів та спектральними характеристиками земного покриву.

Стрімке підвищення рівня трансформації природних екосистем протягом останніх десятиріч закономірно призводить до збіднення видової різноманітності люмбрицид та домінування невеликої кількості їх представників. Залежність чисельності представників люмбрикофауни від стану едафотопу є цілком очевидною, а однією з основних причин збіднення

видового складу дощових червів в урбоекосистемах є трансформація ґрунтів під впливом антропогенної діяльності, що є несприятливим чинником для життєздатності деяких видів червів. Динаміка зміни структури угрупувань дощових червів може бути представлена у вигляді послідовно змінюваних стадій трансформації, кожна з яких виділяється за комплексом ознак (щільність і структура угрупувань). Такої ж думки дотримуються і інші науковці [Sternik & Melnyk 2016; Stryganova 1980].

Висновки

Встановлено, що фауна дощових червів досліджуваної території налічує 8 видів: *A. caliginosa* (Savigny, 1826), *A. rosea* (Savigny, 1826), *A. trapezoides* (Dugesi, 1828), *L. terrestris* (Linnaeus, 1758), *L. castaneus* (Savigny, 1826), *O. lacteum* (Örley, 1885), *E. fetida* (Savigny, 1826) та *D. octaedra* (Savigny, 1826). У більшості вибірок домінантом є *A. caliginosa*, у окремих — *A. rosea* та *O. lacteum*.

У результаті кластерного аналізу к-середніх за оцінками біорізноманіття виділено два кластери вибірок. Найбільший внесок у диференціацію кластерів роблять такі параметри як число видів (2,93 — кластер 1 та 2,13 — кластер 2), число особин у вибірці (15,00 та 13,75 відповідно) та індекс Бріллуіна (0,72 та 0,34 відповідно). При цьому до першого кластера увійшли переважно найбільш чисельні вибірки зі значною видовою різноманітністю та відносно вирівняною структурою угрупувань.

Виявлено достовірну кореляцію між числом особин у вибірці та відбивною здатністю у діапазоні смуги B8, а також між показником вирівняності структури угруповань та відбивною здатністю у діапазонах смуг B4, B5, B11, B12 космічного знімка Sentinel-2 і значенням вегетаційного індексу NDVI. Моделювання просторового розподілу вирівняності структури угрупувань за спектральними характеристиками космічного знімка та за NDVI дає подібні результати: зона високих значень показника лежить переважно у центральній частині досліджуваної території, вкритої деревостаном (менш трансформовані біотопи).

Модель просторового розподілу чисельності дощових червів є мозаїчною — окремі осередки високої чисельності цих тварин змінюються ділянками зниженої чисельності. На окремих ділянках досліджуваної території дані різних моделей є добре узгодженими. Наявний певний зв'язок між окремими оцінками біорізноманіття дощових червів та спектральними характеристиками земного покриву. Тому дані дистанційного зондування Землі можуть розглядатись як предиктори під час моделювання окремих параметрів угрупувань люмбрицид та едафічної мезофауни загалом.

Подяки

Робота виконана у рамках науково-дослідної теми кафедри екології та географії Житомирського державного університету імені Івана Франка «Моніторинг біотичного та оселищного різноманіття з використанням ГІС та даних дистанційного зондування Землі» (Державний реєстраційний номер: 0122U002269).

References

Alvey, A. A. 2006. Promoting and preserving biodiversity in the urban forest. *Urban Forestry & Urban Greening*, **5** (4): 195–201.

Bezruchko, L. 2009. Development of recreational digression in Shatskyi National Natural Park territory. *Bulletin of Lviv University. Geography series*, **36**: 23–30. [In Ukrainian]

Galko, O., I. Onyshchuk. 2012. Use of earthworms (Lumbricidae, Oligochaeta) in soil bioindication. *Biological research — 2012*, 45–47. [In Ukrainian]

Caruso, T., M. Migliorini, E. Rota, R. Bargagli. 2017. Highly diverse urban soil communities: Does stochasticity play a major role? *Applied Soil Ecology*, **110**: 73–78.

Congmou, Z., Z. Xiaoling, Z. Mengmeng, H. Shan, G. Muye, [et al.]. 2020. Impacts of urbanization and landscape pattern on habitat quality using OLS and GWR models in Hangzhou, China. *Ecological indicators*, **117**: 106654.

Gilyarov, M. S. 1975. Accounting of large soil invertebrates (mesofauna). *Methods of soil and zoological studies*, 12–30. [In Russian]

Glasstetter, M. 2016. Earthworm diversity in urban habitats of Basel (Northwestern Switzerland). *Zoology in the Middle East*, **58** (4): 95–102.
Harbar, O. V., D. A. Harbar, O. V. Pavlushkina. 2014. Earthworms of Novohrad-Volynskyi: the structure of groups depending on the level of ecosystem transformation. *Interuniversity scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists "Ecological development of the country within the framework of European integration"*. Zhytomyr, 51–52. [In Ukrainian]
Maréchal, J., K. Hoeffner, X. Marié, D. Cluzeau. 2021. Response of earthworm communities to soil engineering and soil isolation in urban landscapes. *Ecological engineering*, **169**: 106307.
McKinney, M. L. 2006. Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological Conservation*, **127** (3): 247–260.
Mezhzherin, S. V., I. Yu. Kotsyuba, E. I. Zhalai, O. V. Harbar. 2010. Genetic structure of populations of the parthenogenetic earthworm Eiseniella tetraedra (Savigny, 1826) in natural and urbanized habitat. *Scientific Bulletin of Uzhhorod University. Series Biology*, **28**: 135–138. [In Russian]
Mirzak, O. V. 2002. *Ecological features of edaphotopes of urbanized territories of the steppe zone of Ukraine*. DNU, Dnipropetrovsk, 1–19. [In Ukrainian]
Misyura, A. N. A. V. Zhukov. 1995. Some aspects of biochemical testing of animals for monitoring the state of the environment. *Sustainable development: environmental pollution and environmental safety*, **2**: 43–44. [In Russian]
Lapied, E., J. Nahmani, G. X. Rousseau. 2009. Influence of texture and amendments on soil properties and earthworm communities. *Appl. Soil Ecol.*, **43**: 241–249.
Lavelle, Ch. 1998. Burrowing activity of Aporrectodea rosea. *Pedobiologia*, **42** (2): 97–101.
Ooms, A., A. T. C. Dias, A. R. van Oosten, J. H. C. Cornelissen, J. Ellers, M. P. Berg. 2020. Species richness and functional diversity of isopod communities vary across an urbanisation gradient, but the direction and strength depend on soil type. *Soil biology & biochemistry*, **148**: 107851.
Pakhomov, A. E., O. N. Kunakh, A. V. Zhukov, Yu. A. Balyuk. 2013. Spatial organization of the ecological niche of the soil mesofauna of the urbozem. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, ecology*, **21** (1): 51–57. [In Russian]
Perel, T. S. 1975. Life forms of Lumbricidae. *Journal community biol.*, **36** (2): 189–202. [In Russian]
Perel, T. S. 1979. *Distribution and distribution patterns of earthworms in the fauna of the USSR*. Nauka, Moscow, 1–272. [In Russian]
Pouyat, R. V., I. D. Yesilonis, M. Dombos, K. Szlavecz, H. Setala, [et al.]. 2015. A global comparison of surface soil characteristics across five cities: A test of the urban ecosystem convergence hypothesis. *Soil Science*, **180** (4/5): 136–145.
Sternik, V. M., V. Y. Melnyk. 2016. The relevance of earthworm research in the bioindication of the state of urboedaphotopes in the city of Rivne. *Collection of scientific works of the Kharkiv National Pedagogical University named after H.S. Frying pans. Biology and valeology*, **18**: 169–180. [In Ukrainian]
Smetak, K. M., J. L. Johnson-Maynard, J. E. Lloyd. 2007. Earthworm population density and diversity in different-aged urban systems. *Applied Soil Ecology*, **37** (1–2): 161–168.
Stryganova, B. R. 1980. *Food of soil saprophages*. Nauka, Moscow, 1–243. [In Russian]
Tóth, Z, K. Szlavecz, D. J. E. Schmidt, E. Hornung, H. Setälä, [et al.]. 2020. Earthworm assemblages in urban habitats across biogeographical regions. *Applied Soil Ecology,* **151**: 103530.
Vlasenko, R., I. Khomiak, O. Harbar, N. Demchuk. 2020. Lumbricides as a bio-indicators of the influence of electrical transmission line in the conditions of Ukrainian Polissia. *Travaux du Muséum National d'Histoire Naturelle "Grigore Antipa"*, **63** (1): 7–18.
Vsevolodova-Perel, T. S. 1988. Distribution of earthworms in the north of the Palearctic. *Biology of Soils of Northern Europe*, 84–103. [In Russian]
Xie, T., M. Wang, W. Chen, H. Uwizeyimana. 2018. Impacts of urbanization and landscape patterns on the earthworm communities in residential areas in Beijing. *Science of the Total Environment*, **626**: 1261–1269.
Yeliseeva, L. L., R. P. Vlasenko. 2015. The influence of power lines on the structure of communities of earthworms of the family Lumbricidae from the territory of the Transcarpathian region. *Scientific Bulletin of Zhytomyr University. Biology series*, **27**: 12. [In Ukrainian]
Zhou, D., Yu. Tian. 2018. A spatiotemporal study of the interactive relationship between urbanization and ecosystem services: a practical study of urban agglomeration. *China Ind*, **95**: 152–164.
Zhukov, O. V., A. E. Pakhomov, O. N. Kunakh. 2007. *Biological diversity of Ukraine. Dnipropetrovsk region. Earthworms (Lumbricidae)*. Publishing House of Dnipropetrovsk National University, Dnipropetrovsk, 1–371. [In Ukrainian]

GEO&BIO

2023 • vol. 24, pp 183–213
https://doi.org/10.53452/gb2413

The biodiversity concept in crisis? Global tendencies and a view from Ukraine

Igor Zagorodniuk[1], Zoltan Barkaszi[1], Oleksandr Protasov[2], Vasyl Prydatko-Dolin[3]

[1] National Museum of Natural History, NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine);
[2] Institute of Hydrobiology, NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine);
[3] National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

article info

key words
biodiversity, biological concepts, taxonomic richness, evenness, conservation biology.

correspondence to
Igor Zagorodniuk; National Museum of Natural History, NAS of Ukraine; 15 Bohdan Khmelnytsky Street, Kyiv, 01030 Ukraine;
Email: zoozag@ukr.net;
orcid: 0000-0002-0523-133X

article history
Submitted: 25.03.2023. Revised: 28.06.2023. Accepted: 30.06.2023

cite as
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. [In Ukrainian, with English summary]

abstract

The concept of biological diversity (BD) emerged in the early 20th century, and since then the term has been widely used in both scientific and popular science, often as a substitute for the concepts of species richness and species diversity. 'Biodiversity' has grown into an extensive scientific concept that underpins the theoretical and practical foundations of nature conservation around the world. However, there are many critics of the concept of biodiversity, in particular because of the lack of unambiguous definitions that would simultaneously include the entire scope and all levels and aspects of the diversity of living matter. As a rule, diversity studies focus on such aspects as 'rarity', 'threatened', and 'extinction', which in practical terms is manifested in the attempt to preserve rare and endangered genetic, taxonomic, and ecological units, while the vast majority of living things are left out. So, is the concept of biodiversity in general in a real crisis, or is there only a crisis of diversity of definitions, that is, the theoretical foundations of this concept, particularly in the light of scientific achievements of the 20th and 21st centuries? In this paper, we examine the conceptual positions on biodiversity and the arguments against their paradigmatic nature and general viability, which were brought to public discussion in the article 'The case against the concept of biodiversity' by the well-known researcher and journalist Clare Fieseler, published on the well-known American news and explanatory journalism website Vox (2021). From this article, we have identified seven controversial aspects of the current understanding and perception of the concept of biodiversity. The problems associated with the interpretation of the term 'biodiversity', biotic diversity as a dynamic system, current trends in biodiversity research, and the contribution of Ukraine to the development of the concept of biodiversity are also discussed. The ideas of pluralism of biodiversity concepts and the possibility of an updated interpretation of this term are considered. The challenges Ukraine faces in times of a great upheaval, in particular in the context of war and catastrophic destruction of natural complexes, are detailed.

© 2023 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.

Криза концепції біорізноманіття? Глобальні тенденції та погляд з України

Ігор Загороднюк, Золтан Баркасі, Олександр Протасов, Василь Придатко-Долін

Резюме. Поняття «біологічне різноманіття» з'явилося на початку XX ст., і відтоді термін набув широкого використання як у науковій, так і у науково-популярній сфері, часто як заміна понять видового багатства та видового різноманіття. «Біорізноманіття» виросло у розгалужену наукову концепцію, яка лежить в основі теоретичних і практичних засад охорони природи по всьому світу. Однак є багато критиків концепції біорізноманіття, зокрема й через відсутність однозначних визначень, які б одночасно включали весь обсяг та всі рівні, та аспекти різноманіття живої матерії. Як правило, наукові дослідження біорізноманіття акцентують увагу на таких аспектах як «рідкісність», «загрожуваність», «вимирання», що з практичного боку проявляється у намаганні збереження саме рідкісних та зникаючих генетичних, таксономічних, та екологічних одиниць, тоді як переважна більшість живого залишається поза увагою. То чи опинилася концепція біорізноманіття загалом у реальній кризі, чи має місце лише криза різноманіття дефініцій, тобто теоретичних засад цієї концепції, зокрема у світлі наукових досягнень XX–XXI століть? У цій роботі розглядаємо концептуальні положення про біорізноманіття та аргументи проти їхньої парадигмальності і загалом життєвості, які були винесені на публічне обговорення у статті «The case against the concept of Biodiversity» від відомої дослідниці і журналістки Клер Фізелер (Clare Fieseler), яка була опублікована на популярному американському сайті новин та пояснювальної журналістики «Vox» (2021). З цієї статті ми виокремили сім дискусійних аспектів щодо сучасного розуміння і сприйняття концепції про біологічне різноманіття. Також обговорено проблеми, пов'язані з тлумаченням терміну «біорізноманіття», поняттям біотичного різноманіття як динамічної системи, сучасні напрямки досліджень біорізноманіття, а також внесок України у розвиток концепції про біорізноманіття. Розглянуто ідеї плюралізму концептів біорізноманіття та можливості оновленого тлумачення цього терміну. Деталізовано виклики, що стоять перед Україною в час великих потрясінь, зокрема в умовах війни і катастрофічної руйнації природних комплексів.

Ключові слова: біорізноманіття, біологічні концепції, таксономічне багатство, вирівняність, консерваційна біологія.

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

Тема вивчення, моніторингу й охорони біорізноманіття розвивається у світі давно, але отримала міжнародно-правовий поштовх лише у 1992 році, коли було прийнято потужну міжнародну угоду, а саме «United Nations Convention on Biological Diversity» (CBD), відому у нас як Конвенція про біологічне різноманіття (КБР)[1]. Відтоді відбулося значне розширення дискусії щодо різноманіття у світі. З'явилися й потужні нові напрямки, пов'язані зокрема із інформаційними технологіями, моделюванням, використанням штучного інтелекту. Втім помітна частина дій розвивалася у бік переважного обговорення таксономічного різноманіття, із аналізом списків біоти (теми рідкісних, чужорідних видів та контрольних списків у рамках Глобальної таксономічної ініціативи (The Global Taxonomy Initiative). Це знайшло яскравий розвиток в українському науковому просторі, де громада робила помітний акцент на видовому різноманітті, проте приділяла значно менше уваги темам поліморфізму, морфологічної та екологічної диференціації популяцій, різноманіття стратегій розмноження, міграційного статусу, різноманіття типів угруповань, різноманіття екосистем і ландшафтів, не кажучи вже про прогнозування. (Останнє отримало поштовх наприкінці 1990-х, зокрема, із появою і освоєнням відповідних знань, появою програмного забезпечення і комп'ютерної техніки, та розвитком і зростаючими потребами новітньої, цифрової картографії.)

[1] Закон України N 257/94-ВР «Конвенція про охорону біологічного різноманіття від 1992 року» (https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_030). Вжита у цій статті абревіатура БР стосується саме біорізноманіття, що важливо підкреслити, оскільки подібний акронім вживають і для біосферних резерватів.

Попри формування в Україні ідеї «різноманіття різноманіть» (таксономічне, ценотичне, ландшафтне тощо) і уявлень про різні рівні різноманіття [Sheliag-Sosonko & Emelyanov 1997], дослідження за цим напрямком не є достатньо потужними, що до певної міри визначається браком парадигмальних концептів, серед яких дотепер домінує лише один — таксономічний. Проте, розвиток цих ідей спричинив не тільки інтенсифікацію і диференціацію досліджень, але й накопичення суперечностей і застережень. Це щоразу викликає певні доволі помітні дискусії, що виникають і тривають на різного рангу семінарах та у мережі нашого спілкування.

Ця тема з 1990-х років розвивається і в Україні, хоча вона залишається об'єктом особливої уваги небагатьох дослідників і на концептуальному рівні розглядалася лише в працях кількох науковців, зокрема К. Ситника [Sytnyk 1994, 1997, 2011, 2012], М. Голубця [Holubets 1997, 2003, 2008], І. Ємельянова [Emelyanov 1999] та Ю. Шеляга-Сосонка [Sheliag-Sosonko *et al.* 2003; Sheliag-Sosonko 2008, 2010]. Помітним явищем стало й проведення першої в Україні конференції «Конвенція про біологічне розмаїття: громадська обізнаність і участь» [Gardashuk 1997] та цикл конференцій «Наукові основи збереження біотичної різноманітності», організованих М. Голубцем у 2000 р., матеріали яких від початку стали щорічником, який видається Інститутом екології Карпат НАН України, збірник «Збереження біорозмаїття: традиції та сучасність» [Gardashuk 2003] щодо підходів до вивчення та заохочення знань, пов'язаних з біорізноманіттям, а також традицій та інновацій місцевих громад у світлі виконання Україною зобов'язань, що випливають зі статті 8(j) КБР. Врешті, 2009 року відбувся і захист першої в галузі охорони біорізноманіття в Україні докторської дисертації одного з найпотужніших «двигунів» у просуванні міжнародних проектів з охорони біорізноманіття в Україні Я. Мовчана — «Збереження біотичного розмаїття України (методологія, теорія, практика)». Свій посильний внесок у розвиток цього напрямку в Україні зробили й автори, зокрема у монографіях «Біорізноманіття та його оцінка. Концептуальна диверсикологія» [Protasov 2002] та «Біогеоміка. Екосистеми світу в структурі біосфери» [Protasov 2017], формуванні навчальної дисципліни «Основи диверситології» [Zagorodniuk 2004], у посібнику «Агробіорізноманіття України: теорія, методологія, індикатори, приклади» [Sozinov & Prydatko 2005] та керівництві «Помічник з питань збирання та опрацювання матеріалів для національних звітів України про виконання Конвенції про біологічне різноманіття» [Prydatko *et al.* 2006], організації вебсайту «BioModel» (В. Придатко та Г. Коломицев: https://biomodel.info/ua/about/) і циклу конференцій «Динаміка біорізноманіття» [Zagorodniuk 2012], що проводилися щовесни на базі Луганського національного університету і були обірвані, як і багато інших ініціатив, війною навесні 2014 р.

Детальним узагальненням поточних дискусій з приводу концепції біорізноманіття і її домінантної ролі у глобальній природоохоронній практиці є стаття Клер Фізелер (Clare Fieseler), доктора філософії та журналістки, морської біологині, яка опублікована влітку 2021 року під назвою «*Справа проти концепції біорізноманіття* (The case against the concept of biodiversity)» з не менш провокативним підзаголовком «Це більш суперечливо, ніж ви думаєте». Статтю К. Фізелер було опубліковано в американському інтернет-виданні Вокс (Vox), яка спеціалізується на пояснювальній журналістиці, у рубриці Христини Анімашаун «*Пояснення кризи біорізноманіття* (The biodiversity crisis, explained)» [Fieseler 2021]. Стаття К. Фізелер була відповіддю на статтю О. Пайрона «*We don't need to save endangered species. Extinction is part of evolution*» [Pyron 2017], яку до того бурхливо обговорили у всемережжі [напр. Schimel 2017].

В Україні обидві статті залишилися непоміченими. Ми як команда українських фахівців, які переймаються проблематикою вивчення і збереження біорізноманіття пропонуємо читачам для обговорення спектр думок, де йдеться про сучасний обсяг і трактування поняття біорізноманіття загалом, але у світлі тих розбіжностей, на які звернула увагу К. Фізелер [Fieseler 2021]. Очевидно, що викладення думок різних фахівців з приводу заданої теми (а не за заданою самим авторами темою) визначило наявність низки розбіжностей в оцінках проблем і шляхах їх вирішення, проте така наша активність у кожному разі є кроком до порозуміння в цій галузі, аж ніяк не до виявлення розбіжностей. Тому все, що може виглядати як суперечність,

є лише нашим запрошенням до обговорення піднятих питань і проторення шляху до нового розуміння природи і значення біорізноманіття в житті біосфери і людей.

Важливою, набутою особливістю нашої статті, започаткованої ще 2021 року, є потраплян-ня її у відкритий науковий простір під час гарячої фази війни, розв'язаної Росією проти Украї-ни, тобто під час загострення в цій частині Європи багатьох суспільних питань, а не тільки питання про збереження видів (та/чи біорізноманіття). Колосальні збитки, завдані приро-ді України, починаючи з 2014 року і до сьогодні, сягнули трильйона гривень і перевищують бюджет Конвенції про біорізноманіття (див. нижче). Це, у певному сенсі, також є відповіддю О. Пайрону на його нехай філософсько-провокативне, але загалом не цивілізаційне «не по-трібно рятувати». Очевидно, що вимирання є невіддільною частиною еволюційного процесу, як і те, що потужні антропогенні чинники, зокрема й нищівна війна у центрі Європи, не вхо-дять у список факторів природної еволюції.

Важливим аспектом є те, що біорізноманіття та його охорона стали не тільки частиною наукового дискурсу, але й громадської думки, на чому наголошує Ст. 13 КБР. Свідомий грома-дянин XXI століття дбає про природу, про охорону довкілля, рослин та тварин, послуговую-чись поняттям біологічного різноманіття як абсолютної цінності, проте не завжди розуміючи як його суть, так і зміст. А в епоху соціальних мереж та фейків воно стало ще і мішенню для неправильного трактування або й свідомого викривлення, засобом маніпулювання громад-ською думкою і політичних спекуляцій, що послабляє його цінності.

У підсумковій частині автори роблять спробу намітити компроміс у розвитку уявлень про біорізноманіття на основі тих ідей і положень, які є незаперечними для всіх. Попри це, оче-видно, що повний компроміс не може бути досягнутий швидко вже тому, що не є метою ана-лізу. Окремою задачею автори вбачають формування за підсумками цієї дискусії ключових напрямків вивчення й моніторингу біорізноманіття в умовах України, як на поточному етапі розвитку країни, так і в перспективі повоєнної розбудови.

Криза концепції біорізноманіття? Рефлексії на статтю Клер Фізелер

Клер Фізелер у своїй статті зібрала широкий спектр суперечливих питань, що стосують-ся концепції біорізноманіття і які найбільше піддаються скепсису або безпосередній крити-ці [Fieseler 2021]. З даної статті ми виокремили сім аспектів, які, на нашу думку, варто обго-ворити більш детально, і, можливо, переосмислити. Регулярно по тексту авторки і в наших коментарях наводяться апеляції до дослідника Р. А. Пайрона, який 2017 року опублікував су-перечливу статтю під провокативною назвою «Нам не потрібно рятувати вимираючі види. Вимирання — це частина еволюції» [Pyron 2017], яка отримала величезну кількість відгуків і коментарів.

Обрані для відтворення фрагменти тексту Клер Фізелер наводяться окремими вступними блоками, з дозволу авторки, курсивом; нумерація цих частин наша.

1. Вимирання є частиною еволюції, тому не потрібно рятувати зникаючі види

Цим коментарем для Washington Post у 2017 еволюційний біолог Р. Александер Пайрон викликав суперечки серед фахівців. На його думку, ідея зберегти види, яких ми самі ж довели до межі зник-нення, служить лише для заспокоєння власної совісті. Такий підхід практично поставив під сум-нів десятирічну ідею про те, що біорізноманіття — це добре, і що люди повинні прагнути збере-гти всі форми життя на Землі. Думка Пайрона спонукала багатьох вчених публічно стати на захист концепції біорізноманіття, зокрема й нобелівських лауреатів та поважних професорів, які написали довгі роздуми про те, чому підхід Пайрона є «концептуально заплутаним», і чому не-обхідно рятувати зникаючі види. Звісно, гіперфокус на збереженні лише рідкісних видів викликав критику багатьох вчених і раніше, але відкидання ідеї про необхідність збереження видів загалом загрожує підривом основ сучасної природоохоронної діяльності на глобальному рівні. Дебати на-вколо «біорізноманіття» відбивають зростаючий конфлікт щодо важливості біорізноманіття та втрати видів.

Теза про те, що вимирання видів (або ж, філогенетичних ліній з окремими варіантами мінливості) є частиною еволюційного процесу — очевидний і об'єктивний факт, так само як і їх поява. Вимирання звільняє еволюційний простір для нових форм, а накопичення нових форм неможливе без вимирання попередніх. У кожній екосистемі завжди є види, які зникають у певній місцевості або в цілому внаслідок змін умов існування (включно з тиском нових видів). Динаміка і ротація біорізноманіття (в сенсі динаміки популяцій і складу угруповань) є його іманентною властивістю, яку ми можемо бачити і в більш очевидних («прийнятних») проявах екологічних сукцесій, і сезонних змін біоти [Zagorodniuk 2012]). Отже, негативним процесом має бути не вимирання як таке, а вимирання видів внаслідок неприродних змін екосистем, тобто умов існування видів. Проте й це тлумачення вимагає корекцій, оскільки ми маємо визнавати, що будь-які наші аналітичні побудови за умовчанням визнають невідворотність впливів людини, а, отже, і неминучість втрат біотичного різноманіття [Zagorodniuk 1997].

З іншого боку, об'єктивною реальністю є і той факт, що масові вимирання неодноразово мали місце в історії Землі, наймасштабніші з яких («The Big Five») відбувалися з регулярністю близько 50–100 млн років, і внаслідок яких зникло до 95% всіх видів. Багато вчених погоджуються, що сучасна геологічна епоха — антропоцен — є періодом шостого із масових вимирань. Це «шосте вимирання» значною мірою відрізняється від решти тим, що на його перебіг суттєвий вплив має діяльність одного виду (*Homo sapiens*) та наслідків його господарської й середовищетвірної діяльності, які стають тригером особливих біосферних процесів включно зі змінами в структурі біот, поширенні і рівнях чисельності окремих видів, продуктивності екосистем тощо. Намагання пригальмувати цей процес — шляхом охорони та збереження того «рівня» біологічного різноманіття, яке людство «звикло» бачити — зрештою теж має доволі просте пояснення: наслідки «шостого вимирання» можуть бути катастрофічними для самої людини. Едвард Вільсон наголошує, що саме втрата біорізноманіття може стати найбільшою катастрофою для людства [Wilson 1985, 1994, Wilson & Southworth 1996]. Людство не готове змиритися з тим, що воно може стати жертвою процесу, перебіг якого воно само пришвидшує своєю діяльністю. Звідси і намагання зберегти природу такою, якою вона є зараз або хоча б пригальмувати процес глобальних змін так, що давало б можливість людству адаптуватися до нових умов.

Інше питання — реалізація цього задуму, адже охорона природи потребує не лише безпосередніх грошових витрат, але й проведення інших заходів, часто несумісних із парадигмою забезпечення сталого економічного зростання. Наприклад, розширення мережі заповідних територій (суходільних та акваторіальних) означає обмеження або й повну заборону господарської діяльності на цих ділянках, що часто конфліктує з поточними інтересами локальних громад та держави загалом. Задачу ускладнює й те, що донині не існує єдиного підходу до визначення меж заповідних територій. Дуже часто фітоценоз виступає вирішальним фактором для створення об'єкта ПЗФ — праліс, водно-болотне угіддя, цілинний степ тощо, і такий підхід по суті нехтує зооценозом. Безперечно, на кожній з таких ділянок будуть існувати види тварин, які тісно пов'язані з даним фітоценозом, але багато інших залишаться поза увагою. У природоохороні продовжують домінувати критерії загрожуваності, раритетності та ендемічності.

З 1990-х років набуває поширення ідея збереження біорізноманіття поза природоохоронними територіями. Зокрема, поширенню цієї ідеї серед широкого загалу сприяло проведення Європейського року охорони природи (European Nature Conservation Year, or ENCY–1995) під егідою Ради Європи. Наразі ця тема є надактуальною, оскільки площі заповідних територій чи акваторій не покривають і кількох відсотків від площі ареалів високо раритетних видів та їх угруповань.

Ще одним важливим аспектом є те, що до природніх катаклізмів, що впливали на динаміку біорізноманіття у геологічному минулому додалися катаклізми, спричинені безпосередньо чи

опосередковано людиною. Масштабні локальні руйнування довкілля і втрати біорізноманіття можуть виступати моделями для моніторингу динаміки відновлення екосистем у сучасних умовах. З початку повномасштабної війни в Україні масштаби шкоди, заподіяні війною природі надто великі. Бойові дії ведуться на територіях, що є частиною ареалів багатьох рідкісних видів хребетних, зимувальних оселищ мігруючих птахів, унікальних степових угруповань тощо. Функціональні зв'язки у локальних екосистемах повністю порушені, наслідки чого однозначно відбиватимуться на динаміці популяцій і динаміці відновлення. Тимчасово вільні ніші дадуть можливість проникненню чужорідних видів (разом з їхніми паразитами і мікрофлорою), що також є небажаним з точки зору збереження локального біорізноманіття. Все це становить пряму загрозу населенню і країні загалом з величезними витратами ресурсів для подолання потенційних наслідків, тому збереження біорізноманіття все ще здається кращим варіантом, ніж залишати процеси порушення і втрат поза увагою і без будь-якого контролю. Вимирання видів дійсно є частиною еволюції, але людина як вид не готова до наслідків швидких і масштабних втрат біологічного різноманіття.

2. Біорізноманіття важко вимірювати

Найпоширеніший спосіб вимірювання біорізноманіття — підрахувати кількість видів у певному місці, також відомий як «видове багатство». Але критики ставлять під сумнів корисність цього числа і стверджують, що ця концепція завжди була нечіткою, навіть для вчених.

Як і будь-який біологічний феномен, поняття біорізноманіття також потребує чисельного виразу, певного математичного відповідника у вигляді показника чи функції. Зрештою, як реалізувати концепцію біорізноманіття на практиці без математичної оцінки біорізноманіття, без певної формалізації? Показник видового багатства — це число видів, що трапляються на певній території. Показник простий, але малоінформативний, тому були розроблені інші, більш «змістовні» показники. Підставу для критики «видового багатства» як мірила «біорізноманіття» власне дає фундаментальне нерозуміння біорізноманіття, коли його трактують як «багатство життя» або «багатство проявів життя». Інтуїтивно, якраз багатство видів найлегше ототожнюється з багатством проявів життя. Проте не все так просто. Насамперед потрібно розуміти, що життя як феномен проявляється на різних рівнях організації матерії, не лише на видовому, і на кожному рівні, «багатство» проявляється у різних формах. А на видовому рівні окрім числа видів є ще й фактор їхньої відносної чисельності. Наприклад, у сосновому лісі може бути величезне багатство видів — рослин, тварин, грибів. Але різноманіття такого угруповання порівняно невелике, оскільки явним домінантом є один вид — сосна звичайна. У вологому тропічному лісі не тільки величезна кількість видів, але й немає виражених домінантів. Формально, ми не можемо стверджувати про «мале» чи, навпаки, «велике» різноманіття на основі тільки одного показника — багатства, чи представленості, вирівняності.

3. Неясне майбутнє «біорізноманіття» як наукової концепції і терміну

Ключовий момент в еволюції поняття «біорізноманіття» відбувся на Національному форумі з біорізноманіття, який організували у Смітсонівському інституті та Національній академії наук [США] у 1986 році. Форум не лише впорядкував цей термін — завдяки пропозиції біолога Уолтера Розена — але й висунув це модне слово на перший план, оскільки зростаючі темпи глобального вимирання видів отримали як назву, так і терміновість. «Криза біорізноманіття, — сказав біолог Е. О. Вільсон на форумі, — це справжня криза». Проте вже з кінця 1990-х кілька вчених пропонують взагалі відмовитися від терміну «біорізноманіття». На їхню думку, біорізноманіття важко визначати кількісно, важко відстежити у глобальному масштабі з часом, і насправді вона не є ознакою того, що люди зазвичай уявляють як «здорову» екосистему. ООН також повідомила, що світ не зміг досягти навіть однієї з головних цілей збереження біорізноманіття, яку вона поставила перед собою у 2010 році. Перед обличчям прискорення втрати видів і середовища існування країни зараз зобов'язуються захистити 30 відсотків суходолу і водойм до 2030 року. Розробляються нові плани, щоб зупинити втрату біорізноманіття. На цьому тлі нове покоління вчених

розгортає дискусію про те, що робити з самим «біорізноманіттям» — науковою концепцією, її популярним розумінням і, власне, самим словом. Біорізноманіття було задумано таким чином, щоб охопити два поняття: світ, який сповнений дикою природою, і політичну проблему зупинити вимирання. З роками біорізноманіття стало означати багато речей для різних людей — від «місцевих видів» до «дикості», до «природного балансу», і просто «вишуканого слова для природи». Дослідник Р. А. Лаутеншлагер у науковій статті 1997 року під назвою «Біорізноманіття мертве» сказав це більш прямо: «Біорізноманіття стало настільки всеохоплюючим, що втратило сенс».

Сьогодні термін «біорізноманіття» широко використовують як у науковій, так і у науково-популярній літературі, воно постійно «на слуху», і у нього вкладають ще більше і більше змісту, через що дедалі важче дати однозначну дефініцію «біорізноманіттю» як науковому терміну. Як приклад можна згадати, що в українській мові жертвою такої «втрати змісту», принаймні серед не-фахівців, став термін «екологія», коли в результаті популяризації ідей охорони довкілля у суспільстві з'явилася і закріпилася фраза про «погану екологію». Подібне чекає і на термін «біорізноманіття».

Дискусія навколо біорізноманіття має і політичну складову, яка полягає у тому, що проблеми охорони природи, т. зв. «екологічні проблеми» стають дедалі важливішими у свідомості електорату багатьох країн. Тому не тільки міжнародні організації, але й національні уряди розробляють стратегічні або ситуативні плани щодо охорони природи. Але якщо розглядати це питання у термінах різноманіття і «біорізноманіття», чи дійсно охорона, заповідання 30–40–50% території країни чи певного регіону може призвести до успіху? Очевидно, що мова повинна йти про зважену і науково обґрунтовану регуляцію, про управління (менеджмент) природою і природними ресурсами. А це потребує значних витрат. Тим не менш, проглядається тенденція, що навіть політики відвертаються від ідеї охорони видів та ідеї регулювання і охорони угруповань, екосистем чи біогеомів, до ідеї отримання екосистемних послуг за рахунок раціонального використання й дбайливого ставлення до природи, до всіх елементів біосфери.

Формування терміну «біорізноманіття» як парадигмального не могло обійтися без популізму. Це дозволяло суттєво актуалізувати проблему (зокрема й проблеми вимирань, перепромислу, сталого використання ресурсів тощо), а тому, звісно, було політично вмотивованим дійством. Проте дослідження бідних і багатих угруповань, унікальних та «банальних» спільнот, теми «сірої біоти» та центрів ендемізму, осередків видоутворення та «гарячих територій» як центрів високої різноманітності, розвиток біогеографічних порівнянь спонукали дослідників долучатися до цієї теми у якості експертів, і тому це не було суто («відверто») політичним продуктом. Мова йшла про прояви, які відповідали давнім словам, зокрема в українській мові — ряснота, рясність, розмаїття, розмай, буяння, буйнощі, грановитість, різноцвіт, многота, мозаїка, розсипища, багатство тощо.

4. Концепція біорізноманіття — основа консерваційної біології та охорони природи

У 1980-х роках раптово зросло вживання слова «біорізноманіття», яке паралельно стало простою назвою для того виду досліджень, якими вже тоді займалися біологи — консерваційної (природоохоронної) біології. Нарешті з'явився термін для того, що власне ці біологи вимірювали і вивчали. Слово «біорізноманіття» також легко популяризувати, воно захоплює уяву людей і заслуговує на довіру. Біорізноманіття як концепцію і галузь науки сформували троє екологів: Т. Лавджой ввів термін «біологічне різноманіття» у 1980-х, Е. Норс визначив його як різноманітність генів, видів та екосистем у певній місцевості, а Е. Вільсон, який спочатку вважав скорочення «біорізноманіття» «занадто чудернацьким», зрештою популяризував це слово. У 1992 році ООН кодифікувала слово біорізноманіття — і визначення Норса — у багатосторонньому договорі «Конвенція про біологічне різноманіття».

Цілком справедливо стверджувати, що кодифікація терміну «біорізноманіття» пройшла успішно. По-перше, поява окремого терміну «біорізноманіття» і відповідної наукової концепції встановила рамки і зміст окремої галузі біологічної науки — біології охорони природи, або

консерваційної біології (*conservation biology*). На сьогодні це комплексна наука з теоретичними і прикладними складовими, яка широко поширена у західних країнах і стала невід'ємною частиною університетської підготовки нових поколінь біологів. На відміну від заповідної справи, яка викладається у пострадянських країнах і яка робить акцент на організації та управлінні заповідними територіями, консерваційна біологія є мультидисциплінарною галуззю і на перше місце ставить біологічне різноманіття на всіх його рівнях і проявах як продукт еволюційного процесу, тобто як результат взаємодій на рівні генів, особин, популяцій, видів, угруповань та екосистем.

По-друге, слово «біорізноманіття» стало ключовим юридичним терміном у природоохоронному законодавстві. Окрім різноманітних міжнародних конвенцій та ініціатив, «біорізноманіття» також є ключовим у національному законодавстві у галузі збереження рослинного і тваринного світу та охорони природних ресурсів. Проте юридичне визначення терміну не завжди відповідає науковому визначенню. Наприклад, у нас ухвалено Закон про екологічну мережу як, по суті (по назві), про мережу дослідників, а не екомережу, а у Законі щодо Конвенції про біорізноманіття (Закон України N 257/94-ВР «Конвенція про охорону біологічного різноманіття від 1992 року») поняття «біорізноманіття» визначено так: «Біологічне різноманіття означає різноманітність живих організмів з усіх джерел, включаючи, серед іншого, наземні, морські та інші водні екосистеми і екологічні комплекси, частиною яких вони є; це поняття включає в себе різноманітність у рамках виду, між видами і різноманіття екосистем» (ст. 2). При тому дух того тексту просочений ресурсною термінологією та ідеями їх «сталого» використання.

По-третє, «біорізноманіття» стало частиною загальної лексики і його широко вживають не тільки у популярній науковій літературі, але й у ЗМІ та інших нефахових колах, що теж є індикатором усталення цього терміну. Цей концепт набув настільки значного поширення, що нерідко втрачає своє основне значення і використовується як аналог багатства або розмаїття, без оцінок вирівняності елементів різноманіття за рясністю. Останнє — принципово важливе: різноманіття є не оцінкою кількості, а оцінкою розподілу за рясністю, і чим більше елементів та чим більша їхня вирівняність, тим вищі оцінки різноманіття. Відповідно, об'єктом охорони стає не сам факт наявності чогось, але й різноманіття його проявів з відповідними оцінками рясноти.

5. Чи має значення збереження кожного виду?

Прихильники концепції біорізноманіття як «багатогранного явища» акцентують увагу на тому, що не всі види відіграють однакову роль в екосистемі. Деякі види роблять ключовий внесок в екосистему і їх зникнення загрожує існуванню всіх інших видів. Проблема у тому, що ми досі не знаємо, які функції насправді виконує більшість видів. «Чи має значення кожен вид?» — запитав Марк Велленд, еколог рослин з Університету Шербрука в Канаді. «Ви навіть не можете дати відповідь, якщо не запитаєте: "Для чого це має значення?»

Охорона видів та природних ресурсів, як правило, базується на певному наборі компромісних рішень між двома крайнощами — нічого не охороняти або охороняти все. Нічого не охороняти означає швидке використання наявних природних ресурсів, порушення і знищення наземних і водних екосистем та забруднення довкілля з непередбачуваними за масштабом негативними для людства наслідками. Охороняти все, як позитивно б це не звучало, теж не вийде — через брак знань, матеріальних і людських ресурсів та об'єктивні потреби у природних ресурсах для господарства та промисловості. Тому, під час пошуку компромісу неодмінно постає питання про те, які конкретно види і обсяги біорізноманіття охороняти (у парадигмі попередніх утилітарних підходів мова йшла про БР як «природні ресурси» без урахування їхньої самоцінності, внутрішньої цінності, або цінності існування). З точки зору біорізноманіття мова йде про те, які саме популяції та угруповання рослин та тварин потрібно охороняти, щоб забезпечити стабільне функціонування екосистем.

Відповіді на ці питання шукає функціональна екологія, зокрема й теорія ніш. Очевидно, що кожен вид використовує певний набір ресурсів екосистеми і при цьому він сам є ресурсом для інших. Чим різноманітніша екосистема за біотичними та абіотичними параметрами, тим складнішою є її функціональна структура і тим важче зрозуміти функціональні зв'язки між різними видами, що входять до її складу. Саме тому важко спрогнозувати, які наслідки матимуть зникнення тих чи інших компонентів екосистеми.

Потенційне розв'язання цієї проблеми деякі вбачають в ідеях про т. зв. «парасолькові види» (*umbrella species*), «ключові види» (*keystone species*) та види-символи (*flagship species*). Парасольковим вважають той вид, безпосередня охорона якого призведе до опосередкованого збереження інших, екологічно пов'язаних видів. Охорона таких парасолькових видів дозволяє, з одного боку, вибрати конкретні об'єкти для охорони і спрямовувати фінансові і людські ресурси у потрібне русло, а з іншого — як наслідок, зберегти багато інших, пов'язаних або навіть цілком залежних видів. У ролі парасолькового найчастіше виступають ключові види — ті, що мають непропорційно велике функціональне значення (переважно хижаки найвищого рівня, види-інженери та мутуалісти), або види-символи — ті, що найбільш пізнавані у суспільстві або мають якесь сакральне значення (наприклад, бенгальський тигр, велика панда, або орлан-білохвіст).

На глобальному рівні найбільш пріоритетними для охорони залишаються території, які одночасно мають високі показники біорізноманіття — це переважно тропічні та субтропічні регіони, так звані «гарячі точки біорізноманіття» (*biodiversity hotspots*). Ідентифікація та охорона парасолькових видів здаються найбільш перспективними у гірських регіонах та у високих широтах, де показники різноманіття природньо є нижчими. Однак, очевидно, що дослідження функціональних зв'язків між популяціями різних видів всередині екосистем залишається важливим напрямком для прийняття науково обґрунтованих природоохоронних рішень, незважаючи на відносну складність такого роду досліджень.

6. Біорізноманіття не може бути еталоном для оцінки стану екосистем

Покійний біолог Майкл Суле, «батько консерваційної біології», був однозначним, що біорізноманіття — це добре, хоча ця доброта, як він писав, «не може бути перевірена чи доведена». Але в певних місцях біорізноманіття заради біорізноманіття не обов'язково добре. На островах, наприклад, різноманіття рослин, як правило, збільшується, оскільки прибувають немісцеві види; деякі рідкісні види острівних рослин в результаті можуть зникнути, але не завжди. Біорізноманіття може бути неправильним мірилом [стану справ] в екосистемах, які природньо не є різноманітними, як-от бореальні ліси поблизу Арктики, в яких є мала кількість видів, яким рідко загрожує вимирання навіть в умовах вирубки. Багато вчених визнають біорізноманіття недосконалим мірилом. Загальна кількість видів і те, як вона змінюється, не охоплює всі способи, якими люди та інші сили змінюють ландшафт. «Більше біорізноманіття» не є універсальним рецептом для збереження», — пише журналіст Мішель Ніджуіс у «Улюблені звірі», історії руху за збереження природи.

Можна передбачати, що через свою структурну і функціональну складність екосистему навряд чи можна сповна оцінити за одним лише критерієм, яким є і біорізноманіття, а точніше його різні параметричні характеристики. Якщо прийняти, що високі показники біорізноманіття — це добре, тоді з цього випливає інше запитання: а які повинні бути умови для досягнення високого різноманіття? Раніше було запропоновано модель зміни різноманіття угруповань за основними екологічними градієнтами середовища: багатства ресурсів і стійкості умов, ступені порушення факторіальної гетерогенності [див. Protasov 2002]. Однак зміни у показниках біорізноманіття не є відповіддю виключно на умови середовища і зовнішні впливи. Якщо в екстремальних умовах різноманіття мінімальне, то, здавалось би, варто покращити ці умови (зниженням антропогенного тиску, зниженням забруднення, удобренням, поливом і т. п.), і різноманіття буде зростати. Проте різноманіття зростає не монотонно, а досягаючи

деякого максимуму знижується, навіть якщо умови сприятливі або продовжують покращуватися. Крім того, різноманіття визначається не стільки умовами середовища, на які хоч якось може впливати людина (напр., шляхом створення заповідних територій), але біотичними взаємодіями, на які впливати вкрай складно.

Загалом ідея про біорізноманіття як еталон оцінки стану екосистем є одним із найяскравіших глухих кутів сучасної природоохорони. «Освоюючи» мільярди грошей, «природоохоронці» просувають нічим не обґрунтовану ідею про те, що для охорони природи потрібно пройти певні процедури (напр. порахувати види певної систематичної групи і оцінити їхню чисельність). Така практика зумовлена виключно тим, що, як зазначено вище, практично неможливо охороняти все, тому потрібно визначити угрупування та екосистеми, охорона і збереження яких в перспективі давали б позитивний результат. Такий підхід охорони природи популярний і в Україні: перед тим, як охороняти, потрібно зробити перелік видів, посперечатися про їхні наукові (а точніше, вернакулярні) назви, взяти з них купу аналізів на ДНК, віруси тощо. Аналогічними є ідеї заповідання тільки після низки обґрунтувань, при тому постулюється, що об'єктом територіальної охорони може бути тільки ділянка з надвисоким різноманіттям (яке, між іншим, збереглося таким без заповідного режиму, а часто саме завдяки певним помірним навантаженням (наприклад, пасовищним), проте скоро зникне саме завдяки «резерватним сукцесіям»). Втім, зберігати клаптики дикої природи однозначно треба, без довгих і коштовних обґрунтувань; для цього достатньо експертних оцінок об'єкта або ситуації.

7. Біорізноманіття необхідно замінити альтернативною концепцією

Існує думка, що концепція біорізноманіття є недосконалою, а її зміст за 1980-х років слід розглядати як відправну точку для подальшого удосконалення. «Поки хтось не придумає щось краще, ми застрягли на цьому» — писав Марк Велленд, еколог рослин з Університету Шербрука в Канаді. Дехто бачить можливість розширити поняття біорізноманіття на щось більш інклюзивне та більш справедливе. Такі кампанії, як #BiodiversityRevisited та подібні дискусії висунули можливі терміни-замінники, як, наприклад, «тканина життя», що міг би краще охопити весь спектр життя на Землі. Деякі вчені пропонують брати приклад з корінних народів та їхнього уявлення про біорізноманіття і ставлення до використання природніх ресурсів.

Ідея «біорізноманіття» у такому аспекті, у такому розумінні не стільки недосконала чи погана, скільки недостатня. Можливо, варто згадати ідеї В. І. Вернадського про те, що сучасна біосфера є складною системою екосистем, біогеомів і біосферомеронів, які мають свої тенденції еволюційного розвитку, але які вже десятки тисячоліть функціонують під впливом людської діяльності. Ним створено подібний до «тканини життя» альтернативний концепт, що згодом було розвинуто академіком М. Голубцем у його книзі «Плівка життя» [Golubets 1997]. За М. Голубцем, плівка життя «є головним структурним, енергетичним, організаційним, водотрансформаційним і захисним блоком біосфери. В ній відбувається синтез органічної речовини зеленими рослинами, її споживання тваринами, розклад мертвої органіки мікроорганізмами, тобто реалізується одна з визначальних функцій біосфери — трансформація сонячної енергії і біотичний колообіг, здійснюються всі основні біотичні процеси: розмноження, ріст, розвиток, живлення, природний добір і збереження генетичної пам'яті живих істот, їхніх популяцій та екосистем».[2]

Втім пошук альтернативи концепції біорізноманіття є не лише науковою чи світоглядною проблемою. Описуючи й досліджуючи різноманіття природи, ми маємо усвідомлювати реальність присутності в кожній локальній біоті великої кількості культигенних видів і порід, а не опускати очі, коли нам слушно зауважують, що в певній заповідній екосистемі присутність свійських тварин (та й людей) є на порядок вищою за дику біоту, хоч ми їх не враховуємо в оцінки біорізноманіття. До певної міри це виправляє ідея «спонтанної біоти», загально

[2] Світогляд 2013 (https://shorturl.at/iqSXZ).

прийнята у ботаніків [Tredici 2010; Davydov 2021] і тепер запропонована у застосунку до тварин [Zagorodniuk & Kharchuk 2022]. Тобто, чи нерідко штучно обмежуємо міркування або оцінки різноманіття тільки його аборигенною часткою, часом доволі малою.

Схоже, що світові тенденції показують, що принципи, прийняті у Ріо-де-Жанейро, вже стають історією. Однак цікаво, як довго ще дослідницькі проєкти, грантові дослідження та планові наукові теми, зокрема й у наукових установах України, будуть експлуатувати термін «біорізноманіття» для того, щоб обґрунтувати важливість і фінансову необхідність своїх досліджень? Ще цікавіше, зрештою що прийде на заміну і чи треба очікувати нового Ріо і вказівок ООН (можливо, про 30%) або варто задуматися над власними концепціями?

Обговорення

Про тлумачення «різноманіття»

Базовим поняттям у царині вивчення різноманіття природи є сам термін біорізноманіття. Його суть, яка за умовчанням всім зрозуміла і для всіх очевидна, нерідко тлумачиться (або розуміється) як різноякісність об'єктів аналізу. По суті така спрощена трактовка є хибною, бо підміняє поняття «різноманіття» поняттям «багатства». Автори послідовно дотримуються того визначення різноманіття, яке базується на двокомпонентності як іманентній його властивості — це і кількість варіантів, і їхня вирівненість за частотами. Відповідно, різноманіття тим більше, чим більше варіантів представлено у вибірці і чим більш рівновеликими є їхні частоти.

По суті біорізноманіття — це внутрішня структурованість біосистем, яка дозволяє їм максимально ефективно використовувати наявні ресурси, змінюватися у відповідь на зміни середовища і навіть самому бути фактором середовища. Власне, ця його структурованість проявляється на всіх можливих рівнях — від клітинного до екосистемного, від поліморфізму до гільдійної організації угруповань та різноманіття життєвих форм. І будь-які зміни в одній частині цієї структурованості незмінно викликають зміни в інших. Ця змінність, пластичність і динамічність біорізноманіття має низку засадничих для екології тлумачень — від закону Ван Валена щодо відносної пристосованості до принципу альтернативного різноманіття Ємельянова, від принципу цільної упаковки Мак-Артура до екоморфологічних дистанцій між членами гільдій за Хатчинсоном, від життєвих форм Раункієра до систем хижак-жертва Лотки і Вольтерри тощо.

Звісно, є низка обмежень, пов'язаних з визначенням елементів різноманіття та способів їх розрізнення й розмежування (наприклад, кольорів, таксономічних видів, біотопів тощо). Проте є також і обмеження частот, пов'язані з «ефектом розбитого скла» — вихідна неоднорідність ресурсів і загалом неоднорідність умов існування та будь-які прояви життєдіяльності живого проти ентропії впливають на частоти варіантів, серед яких будуть великі й малі. Наприклад, розподіл видів в угрупованні (або факторів, що діють на угруповання) буде відповідати геометричному або близькому до нього, тобто завжди будуть одиничні більш звичайні види і численні низькочисельні види. Так само при оцінках таксономічного різноманіття кількість родів не може бути більшою за кількість видів, а кількість деревостанів за кількість дерев чи кількість морів за кількість заток. Тому досягнення стану абсолютної вирівняності так само неможливе, як і однозначне визначення елементів (напр. варіантів забарвлення чи кількості визнаних видів).

І тому у кожному дослідженні важливою є методична компонента, яка дозволяє чітко визначати те, різноманіття чого дослідники описують. Попри це, сама процедура при різних підходах до оцінки різноманіття є однаковою — необхідним є визначення кількості елементів і їх розподілу за частотами (за рясністю). І попри різноманіття метрик для оцінки різноманіття всі вони зводяться саме для цього. Тобто сутнісним є аналіз неоднорідності, різноякісності, розмаїття.

Очевидно, що у розумінні біорізноманіття мова йде про живу компоненту. Навіть якщо мова йде про колишні стани давно вимерлих організмів та їхніх угруповань, розуміється саме те колишнє різноманіття та його представленість у тафоценозах, а в окремих випадках, зокрема у стосунку до іхнофосилій, — і слідів їхньої життєдіяльності. Проте у сучасних концептах, звісно, мова йде про наразі наявне різноманіття — і як об'єкт дослідження, моніторингу чи охорони, і як ресурс у програмах сталого розвитку людських спільнот. Тут мова йде передусім про різноманіття як феномен природи, тобто об'єкт дослідження.

Тези для дискусії, що випливають зі статті К. Фізелер (і не тільки), але дискусії не лише поточної, а більш широкої, до якої ми запрошуємо всіх наших колег можуть бути:

1) Чи є біорізноманіття абсолютною цінністю і властивістю живого чи лише нашим уявленням про його складність?
2) Чи варто концентрувати увагу на моніторингу й охороні тільки обраних груп і окремих частин біорізноманіття чи важливо говорити про все біорізноманіття?
3) Чи варто відносити до біорізноманіття підорганізмові системи, включно з поліморфізмом, стратегіями росту, розвитку, поведінки?
4) Чи є потреба і чи ми готові переходити від біорізноманіття на рівні видів до біорізноманіття на рівні екосистем?
5) Чи означають новий розвиток і широка диверсифікація теми біорізноманіття її згасання чи це шлях до нового синтезу?

Сподіваємося в наступних випусках цього журналу побачити відповідні статті.

Показники різноманіття і сучасні напрямки досліджень

Варто зауважити, що з часу кодифікації терміну «біорізноманіття» і становлення наукової концепції на його основі, дослідження біорізноманіття пройшли потужний шлях розвитку. На сьогодні прояви біорізноманіття розглядають і вивчають на молекулярному, видовому та надвидовому рівнях, а поява новітніх технологій та аналітичних методів (зокрема молекулярних та комп'ютерних) дали поштовх для розвитку нових напрямків досліджень. Багато з них якраз шукають відповіді на ті дискусійні питання, на які акцентує К. Фізелер у своїй статті.

Багато критиків концепції біорізноманіття підкреслюють, що біорізноманіття важко вимірювати. Можна стверджувати, що дослідження біорізноманіття на окремо взятій ділянці суші чи акваторії починаються на рівні видів. Першим кроком є виявлення видів, що трапляються на даній території та складання їх контрольного списку, що є найпростішим описом розмаїття видів і його математичним показником є «видове багатство» (*species richness*), тобто число видів. Цей показник хоч і корисний, але малоінформативний для характеристики екологічних угруповань, оскільки, як вже було зазначено вище, не враховує рівень представленості кожного з видів. Подальше використання цього показника в принципі обмежується визначенням ступеня подібності різних угруповань за видовим складом (напр., у коефіцієнтах Жаккара, Соренсена та ін.). Окрім того існують різноманітні підходи так званої біоіндикації: наявність того чи іншого виду є показником тих чи інших умов. Розроблені інші показники, які враховують не тільки багатство, але й «внесок» кожного з видів у дане угруповання, тобто їх відносну чисельність і тому є більш інформативними — це «індекси видового різноманіття» (*species diversity index*), «індекс домінування» (*dominance index*), «індекс вирівняності» (*evenness index*) та інші [див. напр. Peet 1975; Morris *et al.* 2014].

Ці показники широко застосовуються в екологічних дослідженнях, проте вони все ж мають свої обмеження. Найголовнішим із них видається те, що вони оперують на таксономічному рівні. Різні типи екосистем (напр., за широтним градієнтом) функціонують при різних рівнях (стосовно показників) біорізноманіття, але залишається не до кінця ясно, що впливає більше на це функціонування, — таксономічна структура і відносна представленість окремих її компонентів (видів, родів, родин) або наявність/відсутність і відносна представленість окремих

(унікальних та звичайних) функціональних ознак, що проявляються у морфології, анатомії та фізіології наявних в екосистемі організмів.

Головне обмеження пов'язане з нелінійним характером показника різноманіття. Тобто ми можемо отримати однакові значення, наприклад, індексу Шеннона при досить різній структурі угруповань. Кількість структур угруповань величезна, однак, орієнтовно можна спрогнозувати рівень різноманіття, використовуючи принцип біоценотичного градієнта [Protasov 2011]. Він дозволяє скласти певні ряди ценотичних структур: від угруповань, де домінуюча популяція (життєва форма, екоморфа) є домінантом формальним, ценотичні зв'язки слабкі, вирівняність, скоріш за все, велика і різноманітність залежить, в першу чергу, від багатства форм. На другому полюсі цього градієнта угруповання зовсім іншої структури: домінант виступає як вид (екоморфа) едифікатор, він суттєво впливає на склад та рясність життєвих ресурсів, частіше — позитивно, тому багатство таких угруповань може бути досить великим. Але ж, завдяки значному домінуванню, вирівняність дуже мала, тому такі угруповання мають низькі значення показників різноманіття. Це досить парадоксально на тлі «звичайних» уявлень про біорізноманіття. Ще один приклад «парадоксів» такого плану. Всім відомий екологічний феномен вкрай значного біорізноманіття дощового тропічного лісу, але ж, серед домінуючих по біомасі в угрупованнях рослин важко знайти помітного домінанта. Таким чином, показники різноманіття будуть великими і дуже великими. Проте, як ми візьмемо для оцінок не видову структуру, а екоморфний склад, то побачимо повне домінування однієї формі — деревовидних автотрофних організмів. І в цьому випадку показники різноманіття будуть вкрай низькими.

Такі «парадокси» роблять дуже важкою відповідь на питання: «Як пов'язані різноманіття та функціонування угруповань та екосистем?» Відповіді на це питання шукає функціональна екологія, зокрема ті її напрямки, що безпосередньо пов'язані з біорізноманіттям. Окрім теорії ніш, яка прагне встановити як розподіляються і використовуються ресурси всередині екосистеми, важливими новими напрямками досліджень є дослідження функціональної раритетності (*functional rarity*) видів та функціонального різноманіття (*functional diversity*) угруповань [див. напр. Tilman 2001; Laureto *et al.* 2015; Violle *et al.* 2017; Le Bagousse-Pinguet *et al.* 2021]. За останні десятиліття було проведено багато досліджень рослинних і тваринних угруповань, розроблено ряд підходів і методів визначення та аналізу функціональних ознак. Зокрема було доказано, що не тільки рідкісні (таксономічно), але й звичайні види мають свій важливий та унікальний внесок у підтримування функціонального різноманіття екосистем [Jain *et al.* 2014; Chapman *et al.* 2018]. Логічно, що з появою таких даних постає питання щодо перегляду підходів до визначення критеріїв надання природоохоронного статусу видам.

Очевидно, що для «нормального» функціонування екосистем необхідно підтримувати «характерний» (у розумінні «притаманний на даному етапі еволюційного розвитку») для них рівень таксономічного та функціонального різноманіття. Межі варіабельності і визначають стійкість екосистеми (*resilience*) до зовнішніх та внутрішніх збурень та відповідь екосистеми (*response*) на зміни умов існування. Оскільки структурні та функціональні ознаки організмів переважно визначаються спадковою мінливістю, різноманіття генів, а точніше різних алелів визначатиме здатність цих організмів адаптуватися до зміни умов середовища та впливу різних стресорів. Тобто прояви різноманіття на генетичному рівні є підґрунтям для прояви різноманіття на вищих організаційних рівнях. А це означає, що генетика та геноміка відіграють важливу роль у збереженні біорізноманіття — природоохоронна генетика (*conservation genetics*) стрімко розвивається як окремий розділ популяційної генетики, метою якої є зрозуміти динаміку потоку генів у популяціях задля уникнення їх вимирання або неуспішної реінтродукції [див. Allendorf *et al.* 2022].

Щодо «оптимальної» структури, «оптимального» різноманіття, слід звернути увагу на те, що в сучасній біосфері при безлічі різних угруповань існує досить невелика кількість типів

угруповань, біомів та екосистем, біогеомів [Whittaker 1975; Walter 1982; Protasov 2017]. Причому, екосистеми коралових рифів, гілеї базуються на високому багатстві видів та форм, але на низький вирівняності, а екосистеми океанічного дна, чи пустель базуються на угрупованнях з невеликим багатством і високій вирівняності. Чи не є це упорядкування структури біосфери глобальним підвищенням негентропії за рахунок скасування «зайвого», надмірного різноманіття на нижчих рівнях? І який саме рівень різноманіття заслуговує на увагу та підлягає охороні, наприклад, на тлі майже повного знищення цілого біогеому — трав'яного (степ, пампа, прерії)? І як на цьому тлі виглядають зусилля по охороні якогось одного, будь якого, степового виду?

Одним із основних показників генетичного різноманіття є ступінь гетерозиготності. Перехід алелів у гомозиготний стан знижує адаптивну здатність популяції. За умови зростання гомозиготності вище певного критичного рівня популяція потрапляє у «коловорот вимирання» (*extinction vortex*). Сприяє цьому процесу деградація та знищення оселищ, коли популяція переходить у стан метапопуляції, а надто коли вона розпадається на окремі ізольовані сегменти. Внаслідок цього зменшується потік генів та збільшується інбридинг. За відсутності потоку нових алелів генетичне різноманіття буде зменшуватися від покоління до покоління, поки не досягне такого рівня, за якого навіть мінімальне порушення умов існування може призвести до зникнення популяції. Виходом з цього «коловороту» може бути внесення нових алелів у генофонд популяції шляхом відновлення потоку генів між ізольованими популяціями (наприклад, за рахунок створення екокоридорів) або штучного вселення нових особин.

Найновішим напрямком дослідження біорізноманіття є природоохоронна палеобіологія (*conservation paleobiology*), який саме зараз проходить своє становлення як окрема міждисциплінарна галузь науки [див. Dietl & Flessa 2011; Rick & Lockwood 2013; Dietl *et al.* 2015; Dillon *et al.* 2022]. Потреба у такій галузі пов'язана з тим, що сучасна (у розумінні неонтологічна) природоохоронна наука (*conservation biology*) досліджує і веде моніторинг біорізноманіття, яке вже існує під постійним антропогенним впливом. Оскільки зміни клімату та довкілля траплялися багато разів протягом геологічної історії, синтез даних палеонтології, археології та консерваційної біології дозволяє не тільки виявити як екосистеми реагували на вплив стресорів у минулому, до появи людини та на різних етапах людської діяльності, але й вибирати перспективні напрямки збереження та відновлення (ресторації) біорізноманіття та екосистемних послуг. Аналіз може охопити період з пізнього плейстоцену (т. зв. *near-time conservation paleobiology*) або давніші епохи (т. зв. *deep-time conservation paleobiology*).

Прикладне значення таких досліджень також полягає у наданні важливих даних інституціям, що визначають природоохоронну політику, для прийняття рішень щодо визначення пріоритетних напрямків охорони біорізноманіття та ефективного розподілу ресурсів, у т.ч. фінансових [див. Barnosky *et al.* 2017]. Також вже доведено кілька випадків, коли вчені дійшли до помилкових висновків щодо природи та масштабів біотичних змін, вразливості та стійкості екосистем, спираючись виключно на результати вивчення живої («неонтологічної») біоти [див. Dietl *et al.* 2015].

Таким чином, функціональна екологія, природоохоронна генетика та природоохоронна палеобіологія є тими науковими напрямками, які найбільш швидко розвиваються і які, очевидно, матимуть провідну роль у розробці або синтезу нових концепцій щодо збереження біологічного різноманіття та екосистемних функцій в умовах сучасних змін клімату та впливу людської діяльності на природу.

Біотичне різноманіття як динамічна система

Тема різноманіття є неоднозначною через різність задач його застосування. Коментарі цієї частини обговорення стосуються таксономічного різноманіття на рівні біот, тобто тієї його частини, яка може бути названа біотичним різноманіттям, де основними структурними

одиницями є види або локальні популяції видів у складі локальних чи регіональних біотичних комплексів. Визнання високого біотичного різноманіття як природної цінності (зокрема в галузі охорони довкілля) в нормі сучасних дискурсів і в дусі концепції про біорізноманіття зводять до такої цінності, яка має охоронятися як «досягнення природи»[3]. Проте, кожне досягнення природи — це досягнення еволюції, а, отже:

1) це лише етап еволюції, яка має тривати й надалі, і поточний стан різноманіття є адекватним саме поточному стану середовищ його існування, а тому він не є «вінцем еволюції» чи загалом кінцевим результатом певних процесів, а є лише проміжним станом, який напевно буде змінюватися;
2) це результат попередньої еволюції, а, отже, результат змін біорізноманіття внаслідок різних (і часом надто різних) процесів, включно з загальним ростом або зменшенням різноманіття тих чи інших систематичних та екологічних груп організмів внаслідок їхньої еволюційної диференціації та змін екологічної ємності середовищ їхнього існування;
3) формування поточного стану різноманіття нерозривно пов'язано з вимираннями і видоутвореннями у глобальному розумінні;
4) зміни різноманіття на регіональних та локальних рівнях визначаються біогеографічними подіями, включно з експансіями, інвазіями та регіональними вимираннями (скороченнями ареалів);
5) різноманіття може проявлятися в цикліці, при тому дуже суттєвій за обсягами змін, зокрема при сезонних змінах біоти (коли мова про помірні широти), інших циклічних змінах (наприклад, зони припливу/відпливу), добовій цикліці (напр. «нічна фауна»);
6) різноманіття суттєво змінюється при всіх проявах екосистемних сукцесій, від локальних змін біотопів та їхніх комплексів до багаторічних змін природної зональності, кліматичних циклів тощо;
7) на всіх етапах, у стосунку до всіх (до різних) груп організмів, при порівняннях сучасних і вимерлих біот тощо на уявлення будуть впливати глибина знань і поточні домінуючі уявлення про те, що таке вид і які його критерії й межі, що таке угруповання і якими є межі екосистем і біомів, а також в яких часових рамках ми оцінюватимемо різноманіття.

У кожному разі, приймаючи ці 7 пунктів, ми муситимемо визнати (або принаймні враховувати) декілька принципово важливих моментів, які суттєво впливають на уявлення про різноманіття як об'єкт моніторингу, охорони чи сталого використання, про що йдеться у Конвенції про біологічне різноманіття. (Ще раз підкреслюємо, що тут мова насамперед про біотичне різноманіття, або різноманіття видів). Такими питаннями є:

1) тема «червоних списків», відома в Україні як тема «Червоної книги України», поза проблемою коректності критеріїв і фактичних підстав внесення чи невнесення окремих видів до переліку об'єктів уваги і державної турботи. Важливо відзначити наступні п'ять складових цієї теми з огляду на концепт динаміки біоти:

а) об'єктом уваги і турботи має стати охорона всього різноманіття, при тому у складі й у форматі біотичних угруповань і зональних комплексів, включно з середовищами їх існування, а не лише окремих обраних видів;

б) критично загрожені види і загалом види з високими охоронними категоріями часто є такими лише в стосунку до окремих маргінальних популяцій, представлених в межах юрисдикції червоних списків, і це ніяк не стосується видів в цілому, що робить ідею виродженою, особливо якщо такі популяції не є окремими таксонами хоча б на рівні підвидів;

в) оскільки види існують не в географічному просторі, а в екосистемах, то зміни меж поширення видів можуть визначатися змінами меж природних комплексів, за якими види

[3] «Досягнення» тут вживається фігурально, оскільки не тільки появи, але й вимирання видів та динаміка складу угруповань — це також досягненнями, як і біоценотичні кризи та шляхи їх подолання.

закономірно слідують, і це слідування (включно з регіональним вимиранням) ніяк не означає, що вид перебуває в критичному стані, який необхідно виправляти, а насправді він за принципом Червоної королеви рухається в бік оптимальних умов;

г) зникнення видів може бути цілком закономірним і фактично невідворотним процесом, який є складовою більш загального феномену динаміки біоти, яку варто розглядати як іманентну властивість біорізноманіття, завдяки якій воно й існує (формується, еволюціонує, реалізується);

д) на рівні більших за «червонокнижні» проєкти для окремих регіонів, територій, акваторій, адміністративних чи історичних областей, країн чи континентів тема «червонокнижності» як загроженого стану популяцій окремих видів може бути не очевидною, а часто й надуманою; є величезна кількість прикладів, в яких доцільність охоронних зусиль на рівні локальних біот є невиправданою через стабільний стан популяцій виду в інших частинах ареалу, і, навпаки, досить невелика частина ситуацій, коли на певній території такі зусилля важливі, при тому мова йде майже завжди не так про ключові популяції, як про ключові оселища (зимовища, нерестилища тощо).

2) проблема біологічних інвазій — дуже подібна до викладеної теми червонокнижності, проте фактично із дзеркально протилежними міркуваннями. Зокрема, такими ідеями є наступні 5 принципових положень:

а) появи нових видів не завжди є результатом катастроф, а часто є експансіями, при тому не завжди ясно, це напевно нове явище чи відновлення колись втрачених ареалів;

б) інвазії та експансії є джерелом поповнення різноманіття і при наявності «дір» (нереалізованих ніш) вони можуть входити до складу угруповань, що живуть у середовищах, які знаходяться в умовах екосистемних змін, а тому появи нових видів можуть бути компенсацією вимирань інших видів[4];

в) інвазії є одним із найефективніших механізмів видоутворення, і поява нових видів у складі нових для них угруповань, як і розрив зв'язків з материнськими угрупованнями та подальша неминуча еволюція в цих нових угрупованнях є ключовою подією у формуванні нових видів;

г) появи вселенців навіть з групи біоценотичних агресорів і загалом видів з високою середовищетвірною активністю напевно негативно вливає на стан екосистем та окремих популяцій аборигенів, що визнають всі природоохоронні проєкти, проти ніким не доведено те, що такі впливи не є фактором «прогресивної» еволюції, який міг неодноразово бути і в попередні епохи;

д) експансії та інвазії фактично проявляються лише на рівні локальних та регіональних біот, і фактично ніяк не стосуються глобальних оцінок різноманіття, його змін та будь-якої динаміки, якщо звісно не йде мова по інвазії як механізм видоутворення.

3) антропогенний фактор і антропогенні зміни. Має бути визнаний реальністю, а не як фактор поза увагою. У зв'язку з цим важливо відмітити наступну п'ятірку зауваг:

а) є неприродним по суті, що до складу заповідних біот вносять гіпер-рідкісні види (а по суті не види, а локальні популяції чи мікрогрупи або й випадково занесених представників віддалених видів), проте не відносять регулярно і однозначно присутніх (часто у значно більшій частці за багатьох аборигенів) таксонів з числа здичавілих свійських чи інших культурних форм, що має бути виправлено і тепер активно робиться ботаніками в рамках концепту «спонтанної флори», в розвиток чого зоологами запропоновано аналогічний концепт «спонтанної фауни»;

б) антропогенні чинники часто надмірно інтенсивні і більші за природні, а тому біоти не встигають адекватно реагувати (супершкідники на монокультурах тощо), багато стихійних лих, породжених людиною, та техногенних аварій. І саме тому ми мусимо (попри свої

[4] Тема некомпенсованих вимирань фауни є у П. Пучкова, вони часто антропогенні [Putshkov 1992].

небажання) визнати їх як постійним і незмінним екологічним фактором, а не протиставляти природним, а поняття синантропії відносити фактично до всієї біоти, вирізняючи лише рівні толерантності або нетерпимості до такого фактора; відповідно ми маємо признати незворотними антропогенні зміни довкілля, а тому й складу біотичних угруповань, тобто біотичного різноманіття;

в) середовища існування змінюються, при тому фактично тільки в один бік, у бік адаптації їх під потреби людей, що має бути визнано як незмінний і нездоланний на поточному етапі еволюції живого фактор. Наразі сформувалося і продовжує розвиватися домінування штучних екомереж при нереальності ідей підтримання чи відновлення природних екомереж; все це коридори для експансій вселенців і фактори фрагментації простору для аборигенів, і з цим не має перспектив не змиритися;

г) відбуваються військові зміни середовищ (белоїдний вплив) з неймовірними змінами ґрунтового й рослинного покриву, порушеннями будь-яких норм і практик природоохорони, використанням або й знищенням природних комплексів для отримання військової переваги, будівництвом фортифікацій та інфраструктурних проектів для досягнення військової переваги, перерозподілом всього приросту економіки на потреби війни, а не природоохорони тощо. Все це ставить нас перед фактом змін, по суті неконтрольованих, за яких відбуваються вселення одних видів та зміни часток інших (зокрема за умов припинення всіх форм традиційного природокористування, включно з випасанням, сінокосінням, рільництвом, охороною лісів, водозабором, відсутнім полюванням і вкрай обмеженим браконьєрством);

д) визнаючи об'єктивні темпи розвитку людської популяції і потреби забезпечення її природними ресурсами, включно з просторовим ресурсом, маємо признати, що втрати різноманіття на локальному рівні будуть незворотними і значними, проте й численні інвазії та експансії, а також втечі з культури і численні культуральні форми живого створюють нову реальність. Достатньо сказати, що людина тільки у стосунку до ссавців створила таке ж саме штучне різноманіття порід (порядку 5 тис. на основі близько 30 видів), яке існували в природі до неї. Якщо ж говорити про чисельності та біомаси, то оцінки свійських, окультурених, культивованих та інших видів (форм) на порядки перевищують оцінки для природних біот.

Ідеї плюралізму і різноманіття концептів

Взагалі ідеї плюралізму концепцій щодо фундаментальних понять біології мають свої витоки у самому різноманітті об'єктів природи. Різноманіття не можна описувати чи вивчати одним способом і з однією міркою. Подібні думки виникають при аналізі концептів виду в біології, різноманіття яких по сумі є природним і визначається різноманіттям систем формування і підтримання окремішностей, дуже різних в різних групах живого і на різних еволюційних щаблях розвитку живого [Zagorodniuk 2021]. Власне, «різність різноманітності» випливає і з моделі ієрархічних рівнів різноманіття [Sheliag-Sosonko & Emelyanov 1997], в якій пропонується розрізняти декілька «ліній» ієрархії, всі з яких починаються з рівня організму.

Очевидно, що така модель не є довершеною: наприклад, там немає рівнів гільдій та угруповань, не передбачено й поліморфізму й гетерозиготності популяцій, різноманіття життєвих стратегій чи міграційного статусу, росту й розвитку. Немає там і згаданого поняття «вид» в жодній із «ліній», окрім тільки таксономічної. Проте, модель демонструє і пояснює структурованість рівнів і модусів різноманіття і те, що їх багато. Іншими словами, немає жодних підстав говорити про універсальне поняття різноманіття, універсальні критерії та оцінки його виявлення, визначення і заміру. Саме тому різноманіття біосистем неможливо оцінити (або й уявити) без різноманіття систем його виявлення й аналізу. У якості ілюстрації щодо багаторівневості: окрім різноманіття деревостанів за ознаками лісовкритості є також різноманіття видового складу едифікаторів, а в межах їх — вікове різноманіття, різноманіття сформованих ними мікробіотопів (від крон, кори, дупел чи коріння до галявин, пологу, підліску, підстилки

абощо), які є і елементами різноманіття, і середовищами існування тих чи інших біотичних спільнот різного рівня охоплення екологічного простору.

У аналізованому тексті «Справи проти КБР» його авторка завершує виклад матеріалів фактично незавершеною думкою про плюралізм у баченні різноманіття, яке не завжди можна оцінити кількісно, тобто виміряти, а отже, й об'єктивно аналізувати. Власне з цим ми й спробували розібратися, виклавши важливі концепти і коментарі до заданої теми з огляду на доробки українських дослідників. І тут варто сказати, що уявлення про різноманіття, можливості вивчення й оцінки його стану і можливих втрат, а тим паче його використання зазнають кардинальних змін через п'ять надпотужних факторів впливу на нього:

1) антропогенні зміни довкілля, включно з фрагментацією природних просторів і формуванням штучних екомереж (канали, лісосмуги, зони відчуження уздовж автобанів, газопроводів та ЛЕП), які стали каналами проникнення чужорідних видів та одночасно факторами фрагментації для аборигенів [Zagorodniuk 2013];

2) прямі або опосередковані впливи чужорідних видів на аборигенну біоту, включно з впливами свійських тварин, людей, зоонозів, паразитів тощо;

3) глобальні кліматичні зміни, включно зі змінами меж природної зональності, які викликають зміни у зональних чи локальних біотичних угрупованнях;

4) військові дії, що ведуть до прямих і опосередкованих впливів на аборигенну біоту, включно з високою смертністю, порушеннями структури популяцій, руйнуванням біотопів;

5) зміни середовищ існування через надмірні белоїдні фактори (зміни мікро- і макроландшафту внаслідок війни), які перевищують впливи селітебності, транспорту, рільництва, рекреації, лісовирощуванння, меліорації тощо.

Отже, різноманіття (і уявлення про нього) будуть суттєво відрізнятися від масштабів аналізу (просторових і часових), об'єктів аналізу, умов його існування. Проте, в усіх таких проявах різноманіття не є надмірним, воно не є й частковим, воно є відповідним до умов існування живого і визначається як ємністю середовища, так і попередньою історією його формування. А ємність не можна вивчати чи охороняти частково. І різноманіття живого в екстремальних умовах (наприклад, на острові-скелі чи в морській западині) не є менш значущим за різноманіття тропічного лісу. Понад те, воно не є малим для цих умов, як і різноманіття тропіку не є надмірним для умов тропіків. Тобто, різноманіття є цілісним, воно становить не просто цінність, воно тільки як цілісна система і може існувати, і надавати преференції лише його окремим частинам (хай і середовищетвірним видам та іншим *umbrella species*) означає наражати БР на його зникнення або втрати значної частки.

Про «ребрендинг» терміну «біорізноманіття»

Термін «різноманіття» не став ключовим словом у жодній з національних програм з вивчення, охорони чи використання природних комплексів чи ресурсів. Не увійшло воно й до міжнародних угод, підписаних Україною, окрім самої угоди, присвяченої КБР.

Не стало різноманіття й ключовим в системі освіти, оскільки жодна освітня кваліфікація чи спеціальність не мають цього слова в назві, і не тільки в біології, а навіть у сільському господарстві (включно з селекцією), хоча в чиновницьких документах регулярно можна бачити термін «різноманіття спеціальностей» або таку дивну конструкцію, як-от «... використання біологічних ресурсів для збереження і відновлення біологічного різноманіття в Україні». Щоправда, в межах освітньо-професійної програми «екологія» (хоча різноманіття вивчають зоологи, ботаніки, палеонтологи, біогеографи) є дисципліна «Збереження біорізноманіття».

Все це засвідчує те, що ідея зайшла в глухий кут, і виходом може бути тільки її очищення і вживання терміну в його власному значенні, без підмін для позначення видового (породного) багатства, поліморфізму, спектру оселищ тощо. Тобто, має дотримуватися вживання терміну у його двокомпонентній сутності — як кількість варіантів (елементів), нормована через їхні

частки у загальній вибірці. Втім, враховуючи недостатню представленість теми БР в українському інформаційному та освітньому просторі, нам зарано нам зарано говорити про «глухий кут», не надавши як широкому загалу, так і певним цільовим групам базові знання та інформацію про БР.

Важливим напрямком у поширенні коректного тлумачення БР є освіта, в якій цінності та ризики втрати біорізноманіття можуть стати важливою темою, яка спонукатиме людей до збереження БР у процесі професійної діяльності та у повсякденному життя. Важливими складовими цього є 1) поширення ідей мінімізації шкоди біорізноманіттю; 2) активні дії задля його збереження, 3) подолання труднощів із розкриттям змісту поняття біорізноманіття для широкого загалу. Останнє важливо розвивати, відштовхуючись від (а не основуючись на) емоційної асоціації БР з «харизматичною мегафауною» та природними угрупованнями, що мають високий естетичний потенціал, і приходячи до переконання в необхідності збереження усіх проявів БР, включно з його «невидимою» або мало відомою для пересічних людей частиною, яка між тим відіграє ключову роль у підтримці сталості екосистем та природних систем життєзабезпечення, є найбільш уразливою і перебуває під загрозою зникнення [Primack 1995; Kyseliov *et al*. 2006].

Біорізноманіття у просторі, часі та управлінні: нові виклики та історичний внесок України

Біорізноманіття як нове колективне свідоме. Наша стаття з'являється у науковому просторі під час гарячої фази війни, розв'язаної РФ проти незалежної України, а відтак у добу обговорення у Європі багатьох суспільних питань, а не тільки питання про збереження видів (та/чи біорізноманіття). Ба більше, адже в Україні збитки, завдані природі, перевищили два трильйони гривень і продовжують зростати, і стало очевидним, що схоже жорстоке боріння точиться навкруг за чистоту інформації. У світі (не)раптом розгорнулася активна битва із фейками, надуманими сенсаціями, медійними «операціями». Такими є нові виклики не тільки для України. І нав'язала їх світові країна-окупант. Із кав'ярень та офісів грізьби перейшли в інформаційний простір.

Шкода, завдана природі України вже сягнула 2 трлн. і, отже, перевищила бюджет КБР у сотні разів[5], і втрати зростають щоденно — це, у певному сенсі, також є відповіддю О. Пайрону на його «не потрібно рятувати». Відповіддю на публіцистику про те, чи має людство напружуватися й зберігати види (читаємо й види як складову біорізноманіття[6]), якщо в природі все одно діє потужна еволюція. Оттепер саме українці мають право запитати: війна теж входить у список рушійних сил еволюції? Взагалі, хіба не є правдою, що дотримуючись хоча б правил і домовленостей, які діяли до війни, соціум міг не допустити жахливої трагедії.

Додатково з'ясувалося й інше: якщо гучна стаття О. Пайрона, на яку так сміливо відповіла К. Фізелер, і чому ми приділили багато спеціальної уваги, була опублікована на сторінках *The Washington Post* у 2017, то вже в 2023 це ж видання привернуло до себе увагу іншим гучним, і не менш скандальним[7] текстом — про Україну [Khurshudyan *et al.* 2023]. Дві названі події ніяк не пов'язані між собою, але не є випадковими: буває, що заради піару окремі видання свідомо ініціюють потужні змагання, у тому числі, як бачимо, й батли з питань природознавства. Отже, у медійному світі інструментом піару й тиску на суспільну думку, на колективне несвідоме (за Юнгом), можуть бути не тільки вибори, бренди, фінанси, клімат, космос, «дарвінівська» еволюція, але й види-та-біорізноманіття. При цьому, зі зрозумілих причин, якийсь

[5] Довідково: станом на 2020 рік адмінбюджет конвенції складав $19 895 100 (Report on the administration of the convention on biological diversity. CBD Website. https://www.cbd.int/doc/quarterly/qr-72-en.pdf). Поточна оцінка збитків на сайті Міндовкілля «ЕкоЗагроза» (ecozagroza.gov.ua) — 2 071 млрд грн».

[6] Див. статтю О. Пайрона, де він посилається на Stanford Encyclopaedia of Philosophy.

[7] Коваленко, А. Базовый ликбез для The Washington Post. Вебсайт, https://t.me/zloyodessit

час відповідні явища залишаються поза увагою міжнародних природоохоронних договорів, включаючи КБР.

Звідси, справа не тільки у статті пані К. Фізелер, а й у тому, що відповідна тема вийшла на зовсім інший рівень, набула модерної актуальності й гучності, про які в 1992 р. розробники Конвенції про біорізноманіття навіть не думали.

У роки Великої війни, яка розпочалася із захоплення Криму в 2014 р., і що продовжує активно руйнувати не тільки економіку, але й довкілля України, обговорення теорії пізнання *біо* й *різноманіття*, викликане у т.ч. статтею О. Пайрона, може здаватися справою витонченою. Втім обговорення на часі.

Велика війна і нові виклики. В Україні слово (термін) *біорізноманіття* управлінці то «забувають», то згадують знову, як це не дивно. Приміром, якщо у 2000-х у наказі № 103 тодішнього міністерства екології (про наукову діяльність заповідників та національних природних парків) з'явилося слово *біорізноманітність*, то вже у 2015-х у схожому поновленому наказі № 414 його немає, втім з'явилося словосполучення *ландшафтне різноманіття*. Окремого розділу про біорізноманіття не бачимо також в типовій сучасній структурі сучасних літописів природи. Зрештою, навіть наша екоінспекція не знає як штрафувати за руйнування біорізноманіття. Разом із тим, існує Концепція загальнодержавної програми збереження біорізноманіття на 2005–2025 роки (схвалена 22 вересня 2004 р., № 675-р).

Водночас життя підказує на що саме соціум звертає увагу задля отримання відшкодувань. Вітчизняні природники фіксують збитки втрат у природі, спричинені війною, у трильйонах гривень (див. вище), а також у тисячах гектарів (втрачених лісів, сільгоспугідь, забруднених вод, замінованих площ) тощо. Західні економісти, прикладом, рівня МВФ (IMF) та ІМПБ (FSIN), фіксують усе в індексах, умовних одиницях, валютах і т.д., демонструючи впевнені, математично обґрунтовані сумні тренди, зокрема щодо цін на сільгосппродукцію і щодо погіршення стану продовольчої безпеки [The Global… 2022; World… 2022: 7, 38].

Та головне (для нашого обговорення) — при згадуванні про продовольчу безпеку у світі усе частіше тепер згадують й Україну. Доведено, що конфлікт вплинув на ланцюги поставок харчових продуктів [див. Jagtap *et al.* 2022]. Інакше кажучи, світова економіка зреагувала на руйнування цілісності та дієвості, у першу чергу, мегаагроекосистеми (агросфери) України, читаймо її агробіорізноманіття. При цьому, за дослідженням Львівського медіафоруму (ЛМФ), у списку нових наративів проросійської пропаганди — «Україна… спровокувала продовольчу кризу в усьому світі». Ну це все одно, як в 64 р. н. е., при імператорі Нероні, перших християн звинуватили у виникненні нищівної пожежі у Римі, відомої потім як *incendium magnum Romae*. Довідково: станом на початок травня 2023 р. в російськомовному вікіпедійному нарисі про світову продовольчу безпеку немає ані слова про війну, розв'язану РФ проти України. Втім замовчування довго не триватиме.

Згадуємо півзабуте складне задля осмислення ще складнішого. Якщо до Великої війни ми напружено й натхненно вивчали агросферу як неоціненне надбання біосферного рівня, у розвиток гарних, високих ідей, висловлених у т.ч. В. Вернадським та В. Станчинським[8], то уже в ході такої побачили, як без звичного, ритмічного експорту зернових (з України — у світ), на планеті виникла рукотворна трейдингова криза, яка зачепила переважно країни, розташовані на південь від Сахари, в Африці. Був порушений (до того іще не озвучений) *тренд впливовості агробіорізноманіття України на світову економіку.* Існують й інші помітні біосистемні втрати — локального, регіонального і глобального рівнів, які піддаються не тільки

[8] Варто нагадати, що ще у 1926–1931 рр., тобто задовго до уведення в науковий обіг терміну «біорізноманіття», акад. В. Вернадський писав про «видовое вещество», а його послідовник, еколог і математик д.б.н. В. Станчинський, — про «ряды видов», «динамику массы видового вещества в биогеоценозах». Ба більше, об'єднуючи види у групи (автотрофів і гетеротрофів), В. Станчинський спромігся чи не уперше розробити низку відповідних математичних рівнянь та припущень [Stantschinsky 1931 a–b].

філософському, але й прагматичному оцінюванню. Якщо у 2015 році у науковому «паспорті» мегаагроекосистеми (агросфери) України ми описали й зафіксували 50 найважливіших параметрів цього унікального утворення [див. Sozinov *et al.* 2005: 21], то сьогодні, у 2023-му, стало очевидним, що путінська війна вплинула на усі 50. Після перемоги нам прийдеться перемірювати й уточнювати їх, так само як й сотні інших показників, індикаторів, індексів, розроблених саме в Україні [Prydatko 2000], або тих, до розробки яких Україна долучилася, співпрацюючи із WCMC, RIVM, IPBES і т.д.[9]

Приміром, у списку показників — NCI, LPI, MSA, CAI, RS–GIS–індекс, більше ніж 50 повидових BioClim-залежних сценаріїв, які базуються на складних обчисленнях, зокрема GLM (рис. 1). В Україні було продемонстровано використання й інших алгоритмів моделювання змін середовищ існування видів, із застосуванням т. зв. *техніки машинного навчання*.

Взагалі, жахлива антиукраїнська риторика, як це не дивно, почала негативно впливати навіть на охорону морських природних екосистем в Східній Арктиці, в самій РФ, читаймо на «трофічну піраміду Елтона». (Управлінці воліють відмовлятися від деяких морських природоохоронних зон на догоду панівному мілітарному наративу.) Так само, із-за сучасних мілітарних дій у Чорному морі спостерігачі фіксують багатотисячні втрати дельфінів[10], а в Каспійському — тюленів[11].

Зазначені біди спровокувала окрема популяція представників виду *Homo sapiens* (Linnaeus, 1758), позбавлена, як з'ясувалося, не те що мудрості, але й людяності. Тому, вони цілком заслуговують на виключення з усіх міжнародних екологічних угод. Якщо до війни такі думки виглядали б занадто популістськими, то наразі на вебсторінці Міндовкілля спеціалісти вже занотували: 1) РФ є підписантом 15 міжнародних екологічних угод; 2) із 15 запитів на виключення РФ із таких, один запит світова спільнота віднині задовольнила (йдеться про членство країни в FSC — Forest Stewardship Council).

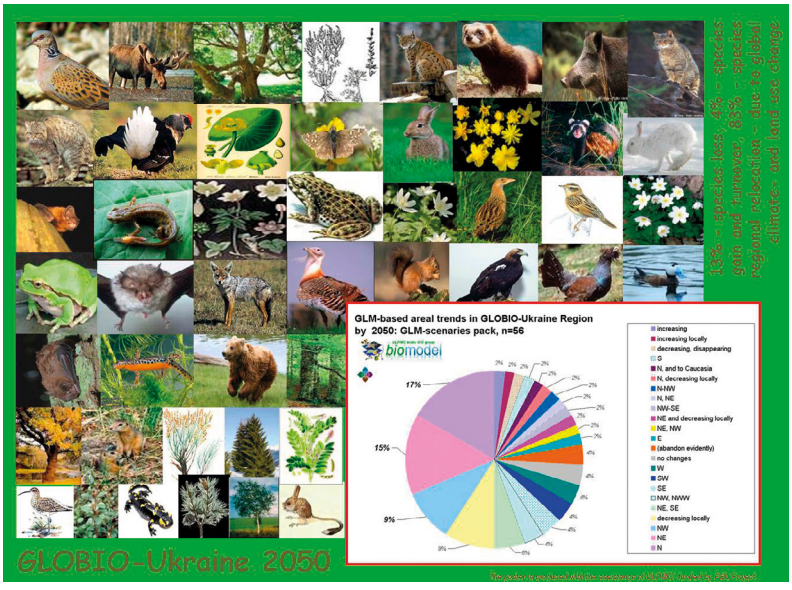


Рис. 1. Постер GLOBIO-Ukraine 2008 року про очікувані зміни біорізноманіття України до 2050 року. Роботи виконували із використанням найкращих напрацювань з біотогеоінформатики (із залученням даних BioClim, RS (ДЗЗ), ІТ-картографії, ПАК- та GLM-підходів)[12]. На діаграмі й нотатці — розподіл частот напрямків змін ареалів тварин і рослин та очікувані кількісні зміни у списках видів.

Fig. 1. The GLOBIO-Ukraine poster of 2008 talks about the expected changes in Ukraine's biodiversity by 2050. The work was carried out using the best practices of biogeoinformatics (with the involvement of BioClim and RS data, IT-cartography, SDM-packages, and GLM-approaches). The diagram and the note show the frequency of habitat change directions for animals and plants and the expected quantitative changes in the lists of species.

[9] Детальніше про індикатори й індекси — див. там же, в «Агробіорізноманіття України…».

[10] Озвучено у т.ч. Президентом України 15.11.2022 на саміті G20 (вебсайт Офісу Президента України).

[11] Це одна із версій причин загибелі (від Ю. Латиніної та Р. Світана), оприлюднених 23 січня 2023 р. на вебсайті Ukraine War Environmental Consequences Working Group (https://shorturl.at/bcjGK).

[12] Придатко, В., Г. Коломицев. 2008. GLOBIO-Україна: 13% втрат чи 4% знахідок видів. Вебсайт BioModel. ПАК — програмно-аналітичний комплекс, GLM — generalized linear model.

Щодо статті О. Пайрона [Pyron 2017], то вона була і залишатиметься прикладом теоретико-пізнавальної катастрофи (і скандального успіху, одночасно). Та як інакше можна сприймати суміш загальновідомого (про масштаби природних явищ, включаючи вимирання-зникнення видів), із додаванням очевидного, про те, що природа розумніша й потужніша за нас, із супутнім розведенням рук (умовно), щодо начебто безпорадності людства, і його неспроможності зменшувати втрати (в масштабах планети), при наявності (на планеті) такого надпотужного суспільного винаходу як низка міжнародних природоохоронних угод, включаючи КБР, та чисельних, причетних до неї, допоміжних інституцій.

Глобус, який Пайрон не помітив. У пайронівські роки світова мережа включала низку міжнародних угод, проектів та ініціатив з відомими і менш відомими акронімами, серед них — різноманітні MEAs (Multilateral Environmental Agreements = багатосторонні угоди щодо довкілля) та різноманітні консультативні ради, а також низка інших не менш відомих[13]. Тоді ж Секретаріат CBD озвучив, що принаймні сім конвенцій мають відношення до теми біорізноманіття — CBD, CITES, CMS, ITPGRFA, Ramsar, WHC, IPPC, і що необхідність пошуку синергії між ними є актуальною. (У К. Фізелер згадано лише про IPPC — Міжнародну конвенцію із захисту рослин.) Із входженням до цього списку активістів синергії IWC там нараховуватиметься вісім конвенцій, які об'єдналися в the Liaison Group of the Biodiversity-Related Conventions — BLG)[14]. На додаток, ICT (interlinkages inside of the infrastructure) мало б стати новою перевагою для всесвітнього моделювання та сценаріїв і для низки таких угод, як European Landscape Convention, The Alpine Convention, The Bat Agreement (EUROBATS), Econet. До того ж обсяги результативних рішень конференцій сторін КБР — це сотні сторінок висновків і рішень.

Отже, самокритика О. Пайрона у вигляді фрази «я піддався спокусі зробити сенсаційною частину своїх аргументів», озвучена ним пізніше, не рятує від звинувачення у штучній необізнаності. При цьому, відповідь від К. Фізелер, хоч і була класифікована нею як «кейс [з питання] про [критику] концепції біорізноманіття», та скоріше була кейсом про «ігри в сенсаційність в екології, із гучним виходом у медійний простір». Сьогодні важко сказати, скільки коментарів отримала у 2017 році стаття О. Пайрона (калькуляцію розробники видалили), та, для прикладу, скандальна стаття І. Хуршудян з кол. [Khurshudyan *et al*. 2023] станом на 18.03.2023 набрала 3324 коментарі.

Цікавіше було б почути від О. Пайрона про інше: чому він написав лише про *види* та не згадав про *види-у-просторі-часі*, і навіть не натякнув на існування надскладної функціональності, «математики» ландшафтних екосистем? Його твердження мов «ми не залежимо від ведмедів білих для нашого виживання, і навіть якщо їх викорінення матиме ефект доміно, який зрештою вплине на нас, ми знайдемо спосіб адаптуватися», видає, що у популярно-текстовому плетенні, у його знаннях є суттєві теоретико-екологічні прогалини. Невже О. Пайрон уважав за можливе замінити когось (читаймо, *U. maritimus*), на декого (*no name*) та ще й у

[13] Серед них — юридично обов'язкові міжнародні договори, у т.ч. глобальні CBD, CITES, CMS, ITPGRFA, Ramsar, WHC, IPPC, тощо, регіональні European Landscape Convention, The Alpine Convention, EUROBATS, AEWA, ACCOBAMS, Бернська конвенція тощо. Є й численні інші ініціативи, серед них — FAO, GBIF, GBIO, INSPIRE, GLOBIO, EUROSTAT, ECLAC (CEPALSTAT), ECA Databank (StateBase), World Biodiversity Database (WBD), A Pan-European Species-directories Infrastructure (PESI), The Arctic Biodiversity Data Service, The Global Invasive Species Database (GISD), Ocean Biogeographic Information System Spatial Ecological Analysis of Megavertebrate Populations (OBIS-SEAMAP), MarineBio Species Database (MarineBio), The Global Invasive Species Database (GISD), EEA (Natura 2000, CLIM 026, SEBI, others); Eionet ETC, IUCN, WCMC, The Map of Life (MOL), BirdLife International, ASEAN Biodiversity Information Sharing Service (BISS), FishBase, HerpNET, The Reptile Database, Integrated Botanical Information System (IBIS), Integrated Taxonomic Information System (ITIS), WikiSpecies, eBird, NatureServe, тощо. І вони суттєво інтегровані одна в одну; наприклад, MOL (The Map of Life) має зв'язок із 55-ма бібліотеками даних, 10-ма потужними партнерами, й використовувала Google App Engine, Google Earth Engine, Google Maps Engine, CartoDB та інші.

[14] Див.: CMS Information and Capacity Building — https://bit.ly/3oeLAB2

грандіозній т. зв. «трофічній піраміді Елтона»? А куди мають подітися вслід, приміром, корінні народи Півночі, чия культура і побут були тісно пов'язані із ведмедем білим упродовж тисячоліть? Навіть про свій улюблений об'єкт, рідкісну жабу *Atelopus balios* із місцевості Ріо-Пескадо (Еквадор), автор написав так мов якщо одного дня цей вид зникне, то світ від цього не збіднішає[15]. Тобто це як?

От якби О. Пайрон позбувся холодних емоцій та згадав класичну екологію, то відкрив би для себе, що після помічених ним ймовірних втрат (як от вимирання *Atelopus balios* в Ріо-Пескадо), там же, в Ріо-Пескадо, скоріше за все, не виникла б пустота, «дірка». Природна *система* завжди шукатиме і знаходитиме інший необхідний їй *елемент*, звернувшись і до «мудрого» природного відбору. Тоді би Пайрон зміг занотувати, що при безперешкодному збігові обставин в надскладному ландшафтно-екологічному мережеві, в Природі, намацане ним «решето», є явищем майже «забороненим».

Взагалі історія про те як знайти консенсус у згаданій суперечці з питань природознавчих, не є новою. Накопичено чимало філософських прикладів — скажімо, від «річ у собі» (Канта), «єдності протилежностей» (Гегеля), «діалектики природи» (Енгельса), «парадоксів» (Назаретяна) і далі, наприклад, до «Непереможний» (Niezwyciężony) С. Лема 1960-х років[16], і взагалі, — до підвалин сучасної екологічної аксіоматики, в бібліотеці якої нараховується більше сотні правил, принципів, законів.

Біорізноманіття — це утаємничений прояв самоорганізації природи задля протистояння ентропії. Тому корисним кроком для нашої дискусії буде згадати Закон Ешбі [Ashby 1957]. У деяких джерелах — *Принцип необхідної різноманітності Ешбі, «закон необхідної складності [Бойзо і Маккелві]»)*, який інформує дослідників про те, що «*відсутність або недостатність розмаїтості можуть свідчити про порушення цілісності підсистем, що складають систему*». Закон підказує дещо й управлінцям: «*різноманіття системи, що керує, має бути не меншим, ніж різноманіття об'єкта управління*». Об'єднуючи обговорення «закону нерівномірності розвитку систем [Хакслі, 1930-ті]» і «закону різночасності розвитку підсистем у великих системах» Н. Реймерс [Reimers 1990: 150] наголошував, що ці закони «забороняють» абсолютне одноманіття, коли йдеться про природокористування. Отже, не тільки кібернетик Вільям Ешбі дав поштовх справі, хоча й вивчав системи й прояви різноманіття, маючи на увазі механізми[17]. Та бачимо, як доречно згадують про все це сучасні екологи.

Хіба *біо* не є частиною різноманіття природних *систем* і запорукою їхньої цілісності? Звичайно, що є, тому ми «приречені» зберігати *біо* у всьому його різноманітті, аби необачно не порушити систему, і нічого не втратити в Природі (принаймні з нашої провини). Хоча, вивчаючи Природу, ми часто-густо маємо справу із чимось, що нагадує рух до безумовного математичного сподівання — зі збільшенням вибірки наше «умовне» невпинно наближається до «безумовного», до ідеального, але весь час відстає.

Хай там як, навіть це невелике занурення в літературу вже дає деякі результати і дозволяє не тільки наблизитися до відповіді на одне з дискусійних питань, озвучених в питаннях до обговорення на початку цієї статті, а саме «Чи є біорізноманіття абсолютною цінністю і властивістю живого, чи лише нашим уявленням про його складність?», але й просунутися далі.

Виявляється, що допоміжний словник термінів, який знаходимо у потужному зведенні рівня IPBES [IPBES 2016: 9], підказує, що текст О. Пайрона можна віднести й до *сценаріїв*. (Довідково: моделі — це про компоненти систем і складні зв'язки, а сценарії — про можливе майбутнє)

---

[15] Дослівно: «But they will go extinct one day, and the world will be none the poorer for it.»

[16] Твір побачив світ у 1963 році; у цій фантастичній історії йшлося про мікророботів, які самоутворилися на планеті Regis III в ході еволюції, і які потім вбили екіпаж надпотужного зорельота землян «Niezwyciężony». Підштовхуванні бажанням помститися, земляни хотіли знищити мікророботів та вирішили не чіпати цей витвір самоорганізації, зважаючи на примхи еволюції.

[17] Ешбі працював із дискретним рівномірним розподілом (втім, в екології це є лише одним із розподілів).

Та головне інше: у сценаріях, за IPBES, мають бути передбачені дії, необхідні для прийняття управлінських рішень. Втім, як ми переконалися, «рішення», запропоноване О. Пайроном — це глухий кут. Добре, що у противагу цьому соціум націлюється на збереження біорізноманіття і діє відповідно, у тому числі з огляду на бажання й далі отримувати *послуги й вигоди*, як це прописано в Конвенції про БР.

Сьогодні усе разом, включаючи документалістику про війну, яка кривавиться в центрі Європи з 2014 р., підштовхуватиме соціум придивитися не тільки до «глухого кута Пайрона», який очевидно падатиме у безодню минулого, але й на те, що до цих воєнних років в напрацюваннях MEAs і допоміжних інституцій питання про війни та, відповідно, про порятунок БР під час бойових дій, оцінювання збитків, завданих природі, або планування відновлення втраченого, делікатно обходили.

Принаймні до 2015-го, під час нарад рівня CBD (включно з її консультативним органом — SBSTTA), CCD, IPCC, Ramsar, 'Bonn', 'Bern', AEWA та інших, в яких автори мали честь брати участь, а також під час кропіткої роботи над зведенням IPBES (2016), у робочих групах і навіть у коридорах фахівці не обговорювали війни. Просто цивілізовані люди звикли піклуватися про збереження БР у мирний час, поки їх не розбудив від наївного сну диктатор-руйнівник, і на колективне світове горе знайшлася країна, поки що член ООН, яка увесь цей *naïve* перекреслила. Як один із наслідків — набуває більшої актуальності прикладна воєнна екологія, вивчення й відновлення БР, постраждалого від війни, відшкодування збитків, заподіяних довкіллю тощо.

Воєнна екологія — новий виклик. В Україні окремі розробки щодо впливів війни на природу мали місце ще у часи Першої світової та наступної за нею російсько-української війни 1917–1921 років [напр. Kotov 1923]. Сучасні війни породжують зміни довкілля, які перевищують будь-які інші впливи. Власне, це і стало підставою формування нового напрямку — воєнної екології (*warfare ecology*), прикладом чого є й фундаментальна колективна праця «Екологія війни. Новий синтез заради миру та безпеки» [Machlis *et al.* 2011] та низка подальших тематичних праць. Війна 2014–2023+ років, розв'язана в Україні, за своїми масштабами досягла рівня геноциду та екоциду, коли окупанти знищують не лише українські села і міста, економіку й людність, але й саме середовище існування людини та дикої біоти, руйнуючи й всі усталені форми природокористування [Gardashuk 2022]. Відповідні напрацювання, включно з моделями щодо можливостей залучення військових полігонів в систему заповідних територій, щодо мінімізації шкоди природі під час військових навчань, впровадженню в практику природокористування різних індикаторів та індексів біорізноманіття і біотогеоінформатики (включно з напрацюваннями УЦМЗР[18]) — все це стало минулим внаслідок катастрофічних змін і руйнацій. Попри все, *екологічна безпека* і сьогодні звучить у назвах наукових тем НАН України і об'єктів уваги Міноборони України[19].

Сьогодні саме Україна робитиме найбільш помітний внесок у ці, здавалося б, мало затребувані раніше знання з воєнної екології і ставатиме лідером. Після завершення Великої війни у переліку кроків (щодо вивчення, збереження і відновлення БР) скоріше за все, будуть наступні: а) важка й дуже витратна інвентаризація (із використанням дистанційних методів і цифрової картографії); б) нове оцінювання стану усіх постраждалих ландшафтних екосистем, із врахуванням сотень показників, які нам вдалося зафіксувати до війни; в) винайдення та/або опанування нових алгоритмів і розрахунків для оцінювання величезних втрат та для визначення найнеобхіднішої послідовності дій. У цей перелік матимуть увійти й чи не найскладніші у царині екології розрахунки функціональної ваги (дослідження у галузі загаданої вище

[18] Український центр менеджменту землі та ресурсів (http://www.ulrmc.org.ua/index_ua.html).

[19] Попри все, ворог України та винуватець останніх екологічних криз із якогось юридичного непорозуміння залишається членом 14-ти MEAs, включаючи КБР, та домінує в ЮНЕСКО.

функціональної екології). Знадобиться й складний пошук й аналіз прихованих та тригерних ефектів. На деякі із них вже звернули увагу Міндовкілля України, вітчизняні й закордонні НУО (NGO), IMF, FSIN, EESC (див. нижче) та окремі дослідники [напр. Jagtap *et al.* 2022].

Раніше, у мирний час, ніхто із нас не наважувався навіть припускати, що можуть, у буквальному сенсі, руйнуватися та зникати у таких небачених масштабах агро-, урбо-, лісо, водно-болотяні, степові та інші екосистеми, перетворюватися на тріски мереживо полезахисних лісосмуг тощо. Почали з'являтися наукові публікації на дану тему й спеціальні інтернет-платформи рівня Міндовкілля (напр. https://ecozagroza.gov.ua/about). Певні доробки з моніторингу ситуації, зокрема й впливів бойових дій на фауну, є і у авторів [Zagorodniuk & Vyshnevsky 2022]. Після виступу Президента України В. Зеленського на G20, набуває гучності й термін «екоцид», названий ним «восьмим викликом» у «формулі миру», і для якого, як з'ясувалося, немає визначення на рівні ООН. Зате він з'явився на рівні EU EESC, в тексті ініціативної резолюції NAT/885-EESC-2022, де також нагадали, що 35% біорізноманіття Європи знаходиться в Україні.[20] Цього року, до Дня Землі, МЗС України поширюватимете відео «Зупини Росію, щоб врятувати Землю» через свої дипломатичні представництва. Розвивають цю тему й українські науковці [Gardashuk 2022].

Про базові питання, сформульовані на початку статті. Маємо дати стислі відповіді на запитання, сформульовані вище як окреслення обшару дискусій.

«Чи є біорізноманіття абсолютною цінністю і властивістю живого чи лише нашим уявленням про його складність?» — так, є, з огляду на *системність*, притаманну живому. «Чи варто концентрувати увагу на моніторингу й охороні тільки обраних груп і окремих частин біорізноманіття чи важливо говорити про все біорізноманіття?» — так, важливо, маючи на увазі усе біорізноманіття (та поважаючи *системи*), і навіть наполягати на прийнятті закону про збереження біорізноманіття в Україні, хоча й вимушено зосереджуватися потім на його *складових*, з причин обмеженості наших знань і ресурсів; причому, в 1980-х такий закон вже обговорювали. «Чи варто відносити до біорізноманіття підорганізмові системи, включно з поліморфізмом, стратегіями росту, розвитку, поведінки?» — так, звичайно (хоча, може й не так широко, як хотілося), адже підорганізмовість, яка відкрилася нам, як раз завдяки спробам пізнати *системи*, є складовою унікального, важко пізнаванного «функціоналу». До того ж, за Ешбі — *Uncertainty= –Information*. Тобто, невизначеність, інакше кажучи, бездіяльність. «Чи є потреба, і чи готові ми переходити від [збереження] біорізноманіття на рівні видів, до [збереження] біорізноманіття на рівні екосистем?» — так, готові, і навіть давно почали вивчати це, у т.ч. у вишах, спираючись, зокрема, на напрацювання із ландшафтної екології та просунувшись суттєво вперед у створенні цифрових карт, і що більше, навіть розпочали діяти відповідно, як-от у відношенні мегаагроекосистеми (агросфери) України. «Чи означає розвиток і диверсифікація теми БР її згасання, чи це веде нас до нового синтезу?» — так, все веде до відсвіженого синтезу; і він давно проглядає, зокрема, в міжнародного екологічному законодавстві (див. вище про синергію конвенцій), в екосистемології, у справі розробки індикаторів й індексів, моделюванні та розробці сценаріїв.

Серед подальших задач, як у питанні формування пулу дослідників і досліджень, так і окреслення сфери застосувань майбутнього закону про БР, як для розвитку дисципліни, що вивчає біорізноманіття (диверсологія, або диверситологія), засади й задачі його оцінювання, моніторингу та охорони, важливим кроком має стати окреслення проявів різноманіття, побудова його класифікації, яка мала би спиратися не тільки на видовий рівень, що є найбільш поширеним напрямком досліджень, але й на різноманіття внутрішньовидове та ценотичне. Аналіз «різноманіття різноманіть» — важливий напрямок розвитку наукової думки та

[20] Right to a healthy environment in the European Union especially in the context of the war in Ukraine. NAT/885-EESC-2022. Plenary session: 578, Apr 26–27, 2023. EESC.

її практичних застосувань. Звісно, що докласти зусиль до моніторингу чи охорони всього неможливо, проте важливо сконцентруватися на механізмах формування і підтримки високого (а в низці випадках — і умовах формування низького) рівнів різноманіття, аналізі факторів його порушення та засад збереження.

Пріоритети щодо біорізноманіття, що стоять перед Україною

Тут вийдемо за межі задач моніторингу, охорони й використання біорізноманіття, що є спільними для всіх держав. Зупинимося на тому, що вирізняє Україну як у сенсі унікальностей природи, так і задач з їх «раціонального» використання та збереження в умовах руйнівної тріади зі стихійної приватизації, деіндустріалізації та війни на знищення нації та середовища її існування. На всі ці складові дедалі більший вплив мають не тільки руйнації природних комплексів під задачі господарювання чи внаслідок техногенних катастроф. Найбільш руйнівними для природи стали військові дії, які викликають не тільки пряму загибель живого, але й знищення середовищ існування та систем охорони довкілля. Військові дії провокують велику кількість стихійних процесів у динаміці популяцій та структурі угруповань, і всі вони є руйнівними. Такі дослідження проводяться у світі [Machlis & Hanson 2008; Lawrence *et al.* 2015; Hanson 2017], актуальними вони стають і для України [Limansky 2014; Zagorodniuk & Vyshnevsky 2022 та ін.].

Розглянемо п'ять основних складових, які мають визначати розвиток ідей вивчення, моніторингу і охорони біологічного різноманіття в Україні та налагодження системи управління цими процесами на найближчі десятиліття.

1. Україна як джерело природних ресурсів для інших країн. Серед ключових біологічних ресурсів та їх похідних — деревина, зерно, олія, тощо. Все це «в нормі» розглядається поза програмами сталого розвитку, принаймні у частині сталого використання природних ресурсів, і вигоди в цьому є виключно економічними — отримання прибутків, розвиток міжнародних стосунків, створення робочих місць. Жодних переваг для природних екосистем чи окремих типів угруповань або раритетних видів це не дає, компенсаційні відрахування на природоохоронні заходи, якщо і є, у будь-яких своїх проявах виглядають як глум над природоохоронними програмами і потребами. Бо ліс у нас навіть в заповідниках міряють «кубометрами запасів деревини», а деревина, зерно, олії (включно з біопаливом) — понад усе. Тому має бути розроблена стратегія розвитку програм з вилучення і вивезення природних ресурсів у балансі з потребами їх відновлення або зменшення їх виснаження, а також і збереження залишків природного середовища, включно з резервуванням територій чи акваторій під природоохоронні задачі. Особливо важливим це має стати на територіях, які будуть звільнені від окупації й де будуть наново формуватися зруйновані війною системи природокористування.

2. Україна як країна, що охоплює серію природних зон. Територія України охоплює в суходільних ландшафтно-біогеографічних одиницях 5 природних комплексів (Карпати, Полісся, Лісостеп, Степ, Гірський Крим), до яких маємо додати не менші за різноманіттям річкові й морські басейни. Це створює надвисокі щільності біотичних комплексів, які є об'єктами охорони не меншого значення, ніж популяції окремих видів. Різноманіття природних зон, терра- та акваландшафтів є особливою цінністю, і це потребує особливої уваги. Всі такі територіальні комплекси є середовищами існування унікальних регіональних біот. Тому і втрати біорізноманіття можуть виявитися більшими за аналогічні втрати від будь-яких катаклізмів у суміжних країнах. Війною зруйновані степові природні комплекси, критично забруднені басейни Дінця, Міуса й Дніпра, створені передумови проникнення низки чужорідних видів рослин і тварин та відповідних завідомо негативних змін аборигенних біот. Відновлення біомного різноманіття має стати пріоритетом у координатах як природної спадщини, так і сталого розвитку місцевих громад.

3. Україна в системі світової екомережі та біосферних резерватів. Бюрократична за своїм змістом система розвитку екомереж та заповідних територій показала свою хибність не тільки в умовах економічних злиднів і розквіту грантоїдства. Найжахливішим наслідком стало те, що всі наслідки поточної війни оцінювалися виключно через людські і економічні втрати. Про війну проти природи і середовища існування, про екоцид та руйнування екомереж та перетворення на полігони біосферних заповідників говорили передусім науковці, проте таку позицію незмінно підтримували і представники Міндовкілля та МЗС на конференціях сторін чи інших заходах в рамках міжнародних договорів, що мають відношення до біорізноманіття; вони неодноразово робили і роблять заяви від імені України щодо шкоди війни на природу і біорізноманіття. Подібні заяви також зробили представники ЄС, США, Великобританії, Австралії, Нової Зеландії і інших країн. Є й певні рішення щодо відсторонення РФ і Білорусі від керівних посад представників цих країн у допоміжних органах договорів. Попри це, на рівні офіційних заяв від ЮНЕСКО (https://www.unesco.org/uk) чи МСОП (https://www.iucn.org/), секретаріатів і постійних комітетів Боннської, Бернської та інших конвенцій подібне не звучало, окрім традиційних «занепокоєнь» невеликої частини з них на самому початку нової війни, у березні 2022 р. Так само, судячи з офіційних вебсайтів, про це не заявили офіси рамкових угод типу EUROBATS і ACCOBAMS, хоча Україна є їхнім учасником[21]. Украй необхідною є активація всіх міжнародних угод і спрямування їх та їхніх фондів на підтримку програм з відновлення й розвитку природоохорони до належного рівня. Наразі говорити про екомережу як транскордонний проєкт впевнено можна стосовно перелітних птахів і ссавців, а про статуси заповідних об'єктів в зонах окупації взагалі краще мовчати: три біосферні заповідники зазнали окупації, два (Асканія та Чорноморський) дотепер в тих умовах і без статутної природоохоронної діяльності. Катастрофою є не тільки окупаційні режими, встановлені на атомних станціях, але й на природних об'єктах, які мають дипломи ЮНЕСКО, що вимагає таких самих рішучих дій і санкцій міжнародної ваги.

4. Україна як країна з порушеною системою охорони природи. Україна зазнала помітних екосистемних збитків внаслідок стихійних процесів приватизації та війни, зокрема й безмірного споживацького ставлення до біоресурсів та варварського їх використання. В усіх цих проявах *права дикої природи не є ключовими*, і біорізноманіття залишається областю спекуляцій («коти як члени міських екосистем», «некошені газони як благо», «інтродуценти як збагачення біоти»). Система охорони природи і традиційного природокористування на значній частині території країни зруйнована. В багатьох областях суттєво скорочено поголів'я худоби і катастрофічно зменшилися пасовищні навантаження, скоротилися всі форми традиційного природокористування (сінокосіння, риболовля, полювання). Набули катастрофічних масштабів військові впливи на природу, включно з масштабними порушеннями рослинного і ґрунтового покривів. За цих умов необхідно не так планувати відтворення старої системи з усіма її вадами, як розробляти принципово нові плани з розвитку системи моніторингу й охорони та фахових мереж з новими потребами, включно з суттєвим збільшенням площ заповідного фонду, що раніше було неможливим.

5. Повоєнна Україна як країна (поки не втрачених) нових можливостей. Україна втрачає фаховий потенціал, і в контексті БР і катастрофічного зменшення обсягів підготовки фахівців

[21] Сайти Бернської і Боннської конвенцій не мають жодних коментарів щодо ситуації з БР в Україні в умовах війни, на сайті IUCN є заява про «занепокоєння» від 16.03.2022 (https://shorturl.at/AEKP7) та стаття (чомусь від координатора для східної та південної Азії) про катастрофічні для довкілля наслідки війни РФ проти України від 30.03.2022 (https://shorturl.at/kuQ18), на сайті CITES є лише розсилка для підписантів заяви від Міндовкілля України від 28.03.2022 (https://shorturl.at/csuY7), на сайті UNESCO є заява від 24.02.2022 про «занепокоєння» щодо культурної спадщини (https://shorturl.at/asHM4), на сайті WWF є заява про «глибоке занепокоєння» від 02.03.2022 (https://shorturl.at/yINPV) та окрема заява про знищення Каховської ГЕС (https://shorturl.at/bgKN5), а також чимало різних посилань про різноманітну активність в Україні за час війни. Тобто, по сумі лише WWF проявляє активність, при тому постійну, а не лише у березні 2022 р.

з вивчення БР[22] та відтоку фахівців за межі країни перспективи існування системи моніторингу БР набувають негативних рис. Пріоритетом має стати система нових стандартів, які важко було зреалізувати в рамках давніших практик, і ми маємо можливість імплементувати нові міжнародні розробки, і правові, і практичні, в систему вивчення, моніторингу й охорони біорізноманіття. Такі практики мають базуватися на підготовці фахівців та участі громадськості у розвитку тих чи інших ініціатив; важливим є швидке і суттєве збільшення числа і площ заповідних територій та об'єктів моніторингу. Окремим напрямком активності має стати відновлення системи експертних оцінок стану довкілля подібно до колишніх національних доповідей, з максимальним залученням фахівців і неурядових організацій. Мають бути оцінки стану різноманіття за регіонами — від найменших ділянок рангу заповідних урочищ до всієї країни, із системою залучення даних від усіх груп користувачів угідь та місцевих фахівців.

Післямова

Отже, чи існує *криза концепції біорізноманіття*, як було зазначено у назві даної статті? Зрештою нам вдалося з'ясувати: довготривала криза дійсно мала місце, як у вигляді відносно незначних подій, на кшталт появи у медійному просторі публікації Пайрона, яка насправді не заслуговувала на набутий гучний розголос, так і дуже потужної шрапнелі з'явищ — від неготовності усієї мережі міжнародних екологічних інституцій світу миттєво реагувати на помітні втрати біорізноманіття, зокрема через руйнівну війну, вчинену РФ, збитки від якої суттєво перевищили бюджет КБР, і до повної неготовності суспільств швидко оцінювати такі збитки, зокрема й для пред'явлення у міжнародних судах для отримання належних відшкодувань від агресора. Втім оттепер відшкодування за втрати біорізноманіття й руйнацію екосистем мали би бути якщо не рівними, то навіть більшими від санкцій, уже накладених на РФ. Проте, все що стосується *біо+різноманіття* прийдеться заново оцінювати й доводити. Чи не найпершим кроком має стати загальне визнання абсолютної цінності біорізноманіття і його проявів, відповідно до змісту тлумачення, очевидно ширшого й глибшого (за загальновідоме), бо невиправлене зведення цього поняття чиновниками, політиками й журналістами до примітивних списків видів або інших об'єктів, є неприйнятним. Ознакою кризи став не лише відвертий медійний «похід біорізноманіття в народ», але й недолугий цикл спроб активістів-аматорів занадто популяризувати це дорогоцінне поняття (начебто заради справи, але насправді на шкоду їй), і що навпаки, призвело до небезпечного спрощення й вихолощення такого поняття як *біо+різноманіття* планетарної ваги. Пам'ятаймо відтепер, що через наслідки Великої війни *біорізноманіття* має бути об'єктом уваги саме фахівців, і галуззю пріоритетною, яка потребує високих фахових знань, донесення яких до загалу можна розглядати не тільки як високе інтелектуальне мистецтво, але й як нагальну потребу виживання не тільки українців, а й усіх народів Європи.

Автори сподіваються на розвиток теми біорізноманіття у всіх її ключових проявах — аналіз, оцінка, моніторинг, охорона, а надто на започаткування парадигмації в Україні теми (концепції) біорізноманіття як вищої цінності природи та природного надбання, яке неможливо відновити бажаннями, законами, програмами чи біотехніями. Біорізноманіття — це той рівень існування живої природи, що за своїм проявом інтеграції перевищує будь-які можливості людини щодо його «абсолютного» пізнання, а тим паче щодо «повного» управління ним. Тому важливим для всіх нас є визначення пріоритетів у розвитку відповідних знань й розумінні природи — як на рівні аналізу, так і моніторингу й охорони. Особливою задачею є розробка заходів до відновлення природних комплексів, порушених техногенними впливами та війною, сприяння екосистемам, виведеним з рівноважних станів або природних сукцесій,

[22] На майже 300 університетів наразі (оціночно) є до 20 кафедр біотичного спрямування (ботаніка, зоологія), одиниці — вузькоспеціального напрямку (іхтіологія, ентомологія, марикультура), десятки — «екології», проте такої, в якій біоті (надто дикій) відводиться мінімальна увага.

зокрема через сприяння участі середовищетвірних видів, дублюванні втрачених навантажень на них (надто через втрати фітофагів та консументів вищих порядків), подолання наслідків девастації територій та акваторій внаслідок руйнівних впливів. Врешті, вкрай важливо посилювати увагу суспільства до збереження не лише ландшафтів і природних комплексів, але й самого біорізноманіття.

Подяки

Дослідження проведено в рамках власної ініціативи авторів, поза будь-якими державними програмами чи дослідницькими темами. Автори щиро дякують Клер Фізелер (Clare Fieseler) за дозвіл на відтворення фрагментів її статті, важливих для розвитку дискусії. Наша подяка Володимиру Домашлінцю (Відділ охорони біологічного різноманіття та біобезпеки Департаменту природно-заповідного фонду та біорізноманіття Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України) та Віктору Ремінному (Сектор проблем навколишнього середовища Президії НАН України та Національний комітет України з програми ЮНЕСКО «Людина і біосфера») за консультації щодо поточних міжнародних дій стосовно охорони біорізноманіття в Україні. Наша подяка Тетяні Гардашук (Інституту філософії ім. Г. Сковороди НАН України) за численні цінні коментарі по тексту рукопису, максимально нами враховані.

References

Allendorf, F. W., W. C. Funk, S. N. Aitken, M. Byrne, G. Luikart. 2022. *Conservation and the Genomics of Populations, Third Edition*. Oxford University Press, 1–784. https://doi.org/10.1093/oso/9780198856566.001.0001

Ashby, W. R. 1957. Requisite variety. *An Introduction to Cybernetics*. Chapman & Hall Ltd., London, 202–216.

Barnosky, A. D., E. A. Hadly, P. Gonzalez, J. Head, P. D. Polly, [et al.]. 2017. Merging paleobiology with conservation biology to guide the future of terrestrial ecosystems. *Science*, **355** (6325): eaah4787. https://doi.org/10.1126/science.aah4787

Chapman, A. S., V. Tunnicliffe, A. E. Bates. 2018. Both rare and common species make unique contributions to functional diversity in an ecosystem unaffected by human activities. *Diversity and Distributions*, **24** (5): 568–578. https://doi.org/10.1111/ddi.12712

Davydov, D. A. 2021. An update to the species list of vascular plants of the spontaneous flora of the Left Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Ukrainian Botanical Journal*, **78** (1): 23–31. https://doi.org/10.15407/ukrbotj78.01.023

Dietl, G. P., K. W. Flessa. 2011. Conservation paleobiology: putting the dead to work. *Trends in Ecology & Evolution*, **26** (1): 30–37. https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.09.010

Dietl, G. P., Kidwell, S. M., Brenner, M., Burney, D. A., Flessa, K. W., [et al.]. 2015. Conservation paleobiology: leveraging knowledge of the past to inform conservation and restoration. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, **43**: 79–103. https://doi.org/10.1146/annurev-earth-040610-133349

Dillon, E. M., J. Q. Pier, J. A. Smith, N. B. Raja, D. Dimitrijević, [et al.]. 2022. What is conservation paleobiology? Tracking 20 years of research and development. *Frontiers in Ecology and Evolution*, **10**: 1031483. https://doi.org/10.3389/fevo.2022.1031483

Emelyanov, I. G. 1999. Diversity and its role in functional stability and evolution of ecosystems. International Solomon's University, Kyiv, 1–168. [In Ukrainian]

Fieseler, C. 2021. The case against the concept of biodiversity. *Vox*, August 5, 2021, online: https://bit.ly/3YY5FIc

Gardashuk, T. V. (ed.). 1997. *Convention on Biological Diversity: Public Acquaintance and Participation.* Cirizen Group 'Green Ukraine'. Stylos, Kyiv, 1–154. [In Ukrainian]

Gardashuk, T. (ed.). 2003. *Biodiversity Conservation: Tradition and Modernity*. Chemjest, Kyiv, 1–120. [In Ukrainian]

Gardashuk, T. 2022. Is Russian aggression in Ukraine ecocide? *Envigogika*, **17** (1): 1–6. https://doi.org/10.14712/18023061.642

Hanson, T. 2017. Biodiversity conservation and armed conflict: A warfare ecology perspective. *Annals of the New York Academy of Sciences*, **1429** (1): 50–65. https://doi.org/10.1111/nyas.13689

Holubets, M. A. 1997. *Film of Life*. NAS of Ukraine, Carpathian Ecology Institute. POLLY, Lviv, 1–186. ISBN 966-7307-02-6. [In Ukrainian]

Holubets, M. A. 2003. Biological diversity and scientific approaches to its conservation. Liga-Press, Lviv, 1–33. [In Ukrainian]

Holubets M. 2008. Biotic and landscape diversities: theory and practice. *Ecological Collection. Studies of biotic and Landscape Diversity and Its Conservation*. Lviv, 31–47. (Series: Works of the Shevchenko Scientific Society; Vol. 23). [In Ukrainian]

IPBES. 2016. *The methodological assessment report on scenarios and models of biodiversity and ecosystem services*. Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Bonn, Germany, 1–348. http://bit.ly/3JoZQhi
Jagtap, S., H. Trollman, F. Trollman, G. Garcia-Garcia, C. Parra-López, [et al.]. 2022. The Russia-Ukraine Conflict: Its Implications for the Global Food Supply Chains. *Foods*, **11** (14): 2098. https://doi.org/10.3390/foods11142098
Jain, M., D. F. Flynn, C. M. Prager, G. M. Hart, C. M. DeVan, [et al.]. 2014. The importance of rare species: A trait-based assessment of rare species contributions to functional diversity and possible ecosystem function in tall-grass prairies. *Ecology and Evolution*, **4** (1): 104–112. https://doi.org/10.1002/ece3.915
Khurshudyan, I., P. Sonne, K. DeYoung. 2023. Ukraine short of skilled troops and munitions as losses, pessimism grow. March13. *The Washington Post*. Online: https://shorturl.at/bFOQ5
Kotov, M. I. 1923. How the Civil War influenced the distribution of plants and animals in Ukraine and Russia. *Znattia,* (2): 24–26 [In Ukrainian]
Kyseliov, M. M., T. V. Gardashuk, K. E. Zarubitsky, [et al.] 2006. *Environmental Dimensions of Globalisation. Monograph*. PARAPAN Publishing House, Kyiv, 1–260. [In Ukrainian]
Laureto, L. M. O., M. V. Cianciaruso, D. S. M. Samia. 2015. Functional diversity: an overview of its history and applicability. *Natureza & Conservação*, **13** (2): 112–116. https://doi.org/10.1016/j.ncon.2015.11.001
Lawrence, M. J., H. L. J. Stemberger, A. J. Zolderdo, D. P. Struthers, S. J. Cooke. 2015. The effects of modern war and military activities on biodiversity and the environment. *Environmental Reviews*, **23**: 443–460. https://doi.org/10.1139/er-2015-0039
Le Bagousse-Pinguet, Y., N. Gross, H. Saiz, F. T. Maestre, S. Ruiz, [et al.]. 2021. Functional rarity and evenness are key facets of biodiversity to boost multifunctionality. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **118** (7): e2019355118. https://doi.org/10.1073/pnas.2019355118
Limansky, S. V. 2014. Military actions on the territory of the reserve 'Cretaceous Flora'. *Steppe Bulletin*, **42**: 34–35. [In Russian]
Machlis, G. E., T. Hanson. 2008. Warfare Ecology. *BioScience*, **58** (8): 729–736. https://doi.org/10.1641/B580809
Machlis, G. E., T. Hanson, Z. Špirić, J. E. McKendry (eds). 2011. *Warfare Ecology. A New Synthesis for Peace and Security*. Series: NATO Science for Peace and Security C: Environmental Security. Dordrecht: Springer, I–XIII + 1–200. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1214-0
Morris, E. K., T. Caruso, F. Buscot, M. Fischer, C. Hancock, [et al.]. 2014. Choosing and using diversity indices: insights for ecological applications from the German Biodiversity Exploratories. *Ecology and evolution*, 4 (18): 3514–3524. https://doi.org/10.1002/ece3.1155
Peet, R. K. 1975. Relative diversity indices. *Ecology*, **56** (2): 496–498. https://doi.org/10.2307/1934984
Primack, R. B. 1995. *Primer in Conservation Biology*. Oxford University Press, 1–384. ISBN 978-0878936236
Protasov, A. A. 2002. *Biodiversity and Its Estimation. Conceptual Diversicology*. Institute of Hydrobiology, NAS of Ukraine. Kyiv, 1–105. [In Russian]
Protasov, A. A. 2011. *Life in the Hydrosphere. Essays on General Hydrobiology*. Academperiodica, Kyiv, 1–704. [In Russian]
Protasov O. O. 2017. *Biogeomics. Ecosystems of the World in the Structure of the Biosphere*. Akademperiodika, Kyiv, 1–382. [In Ukrainian] https://doi.org/10.15407/akademperiodyka.333.382
Prydatko, V. 2000. Biodiversity and bioresources of Ukraine: review of SoE publications (1992-1998) and re-evaluation of trends (1966–1999). *The Environment and Resources: scientific problems.* Ukrainian Institute of Environmental and Resource Research, Kyiv, 194–215. [In Ukrainian] https://bit.ly/42qEYyO
Prydatko V., G. Prystynska, O. Panina, B. Vasylkivskyi. 2006. *Assistant in collecting and processing materials for Ukraine's National Reports on the Implementation of the Convention on Biological Diversity.* UNEP-EcoPravoKyiv, Kyiv, Lviv, 1–48. [In Ukrainian] https://bit.ly/3Ka2ysj
Putshkov, P. V. 1992. Uncompensated extinctions in Wurm. 3. Overkill, underkill and other factors. *Vestnik zoologii*, No. 4: 73–81. [In Russian]
Pyron, R. A. 2017. We don't need to save endangered species. Extinction is part of evolution. *The Washington Pos*t, November 22, 2017, online: https://wapo.st/40kcYeH
Reimers, N. F. 1990. *Nature Management: Dictionary-Reference Book*. Mysl, Moskva, 1–637. [In Russian]
Rick, T. C., R. Lockwood. 2013. Integrating paleobiology, archeology, and history to inform biological conservation. *Conservation Biology*, **27** (1): 45–54. https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2012.01920.x
Schimel, J. 2017. Do Species Matter: responding to an op-ed by R. A. Pyron in the Washington Post as a piece of writing. *Writing Science*. November 30, 2017, online: https://bit.ly/3JpLPQw
Sheliag-Sosonko, Y. R., I. G. Emelyanov. 1997. Conceptual foundations of the scientific biodiversity interpretation. *In:* Gardashuk, T. (ed.). *Convention on Biological Diversity: Public Awareness and Participation.* Stylos, Kyiv, 11–23. [In Ukrainian]
Sheliag-Sosonko, Y. R., D. V. Dubina, L. P. Vakarenko. 2003. Conservation and sustainable use of biodiversity of Ukraine: state and prospects. Chemjest, Kyiv, 1–248. [In Ukrainian]
Sheliag-Sosonko, Y. R. 2008. Biodiversity: concept, culture and the role of science. *Ukrainian Botanical Journal*, **65** (1): 3–26. [In Ukrainian]
Sheliag-Sosonko Y. R. 2010. The role of biodiversity at the present stage of civilisation. *Ukrainian Botanical Journal*, **67** (1): 3–15. [In Ukrainian]

Sozinov, O. O., V. I. Prydatko (eds). 2005. *Agrobiodiversity of Ukraine: Theory, Methodology, Indicators, Examples*. *Book 1*. 'Nichlava', Kyiv, 1–374. [In Ukrainian]
Sozinov, O. O., V. I. Prydatko, R. I. Burda, O. G. Tararico, O. O. Kucher. 2005. About the most important indicators, quantitative and qualitative properties of the mega-agroecosystem (agrosphere) of Ukraine. *Agrobiodiversity of Ukraine: Theory, Methodology, Indicators, Examples*. 'Nichlava', Kyiv, **2**: 17–30. [In Ukrainian] http://www.ulrmc.org.ua/services/binu/publications/BINU_book_1.pdf
Stantschinsky, V. 1931 *a*. On some basic concepts of zoology in the light of modern ecology. *Proceedings of the Fourth All-Union Congress of Zoologists, Anatomists and Histologists* (Kyiv, May 6–12, 1930). Gosmedizdat of the Ukrainian SSR, Kyiv, Kharkiv, 42–43. [In Russian]
Stantschinsky, W. W. 1931 *b*. Zur Frage der Bedeutung der Masse der Artensubstanz für das dynamische Gleichgewicht der Biocönosen. *The Journal of Ecology and Biocenology (Moscow, Leningrad)*, **1** (1): 88–95. [In Russian and Germany]
Sytnyk, K. M. 1994. Environmental crisis: assessment, development, possible consequences. *Ukrainian Botanical Journal*, **51** (6): 3–17. [In Ukrainian]
Sytnyk, K. M. 1997. Sustainable development of society and biological biodiversity. *Ukrainian Botanical Journal*, **54** (4): 317–323. [In Ukrainian]
Sytnyk, K. M. 2011. Problems of global phytodiversity and development of phytodiversitology. *Ecology and noospherology,* **22** (3-4): 6–18. [In Ukrainian] https://shorturl.at/chERW
Sytnyk, K. M. 2012. Biotic diversity: current situation, close and distant outlooks of its conservation, elimination and enrichment. *Ecological Sciences: a scientific and practical journal*, № 1: 26–32. [In Ukrainian] https://shorturl.at/lmBIW
The Global ... 2022. *The Global Report on Food Crises 2022 | in brief. FSIN*. Website. https://shorturl.at/beyFK
Tilman, D. 2001. Functional diversity. *Encyclopedia of biodiversity*, **3** (1): 109–120. https://doi.org/10.1016/B0-12-226865-2/00132-2
Tredici, P. D. 2010. Spontaneous urban vegetation: reflections of change in a globalized world. *Nature and Culture*, **5** (3): 299–315. http://doi.org/10.3167/nc.2010.050305
Violle, C., W. Thuiller, N. Mouquet, F. Munoz, N. J. Kraft, [et al.]. 2017. Functional rarity: the ecology of outliers. *Trends in Ecology & Evolution*, **32** (5): 356–367. https://doi.org/10.1016/j.tree.2017.02.002
Walter, H. 1982. *General Geobotany.* Translation from German. Mir, Moskva, 1–264. [In Russian]
Whittaker, R. H. 1975. *Communities and Ecosystems. Second edition*. MacMillan Publishing Co., Inc., New York, 1–387.
Wilson, E. O. 1985. The biological diversity crisis. *BioScience*, 35 (11): 700–706. https://doi.org/10.2307/1310051
Wilson, E. O. 1994. *Naturalist*, Shearwater Books Island Press, 1–380. ISBN 1-55963-288-7
Wilson, E. O., L. S. Southworth. 1996. *In Search of Nature*, Shearwater Books, 1–224. ISBN 1-55963-215-1
World ... 2022. *World Economic Outlook Report October 2022.* IMF. Website. https://shorturl.at/hltL2
Zagorodniuk, I. 1997. Concept of 'hot territories' and biodiversity protection. *In:* T. Gardashuk (ed.). *Convention on Biological Diversity: Public Awareness and Participation.* Stylos, Kyiv, 59–68+146–147. [In Ukrainian]
Zagorodniuk, I. 2004. Fundamentals of diversitology (schedules of lectures for specializations "Ecology"). Uzhhorod University Press, Uzhhorod, 1–20. [In Ukrainian] http://lucanus.org.ua/progr/dyversykologia.pdf
Zagorodniuk I. (ed.). 2012. *Dynamics of Biodiversity 2012 (Collection of scientific articles)*. Taras Shevchenko Luhansk University Press, Luhansk, 1–252. ISBN 978-966-617-297-9. [In Ukrainian] https://shorturl.at/dqEX8
Zagorodniuk, I. 2013. Artificial econets and biological invasions: essence, relations, role in biota changes. *In: Modern Ecological Problems and Their Decision* (Proceed. III Intern. Conf.). Luhansk, 40–43. [In Ukrainian]
Zagorodniuk, I. 2021. On species, its reality and types of species. *Geo&Bio,* **20**: 34–49. [In Ukrainian] https://doi.org/10.15407/gb2006
Zagorodniuk, I., S. Kharchuk. 2022. Spontaneous mammal fauna of Ukraine: concept, composition, features. *Novitates Theriologicae*, **13**: 5–19. [In Ukrainian] http://doi.org/10.53452/nt1311
Zagorodniuk, I., D. Vyshnevsky. 2022. Biodiversity losses and changes in the zones of prolonged hostilities in Ukraine: theriological component (2014–2022). *Visnyk NAS of Ukraine,* No. 11: 60–78. https://doi.org/10.15407/visn2022.11.060

GEO&BIO

2023 • vol. 24, pp 214–224
https://doi.org/10.53452/gb2414

Frequency of occurrence and identification of nematodes among entomopathogenic organisms in agrocoenoses of Ukraine

Andrii Kovtun[1], Svitlana Petrenko[1,2]

[1] Odesa State Agrarian University (Odesa, Ukraine)
[2] Institute of Climate-oriented Agriculture, NAAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

article info

key words
occurrence, entomopathogenic nematodes, insect pathology, agrocoenoses

correspondence to
Andrii Kovtun; Odesa State Agrarian University, 13 Panteleimonivska Street, Odesa, 65012 Ukraine;
Email: andrii_kovtun@ukr.net;
orcid: 0000-0002-6119-860X

article history
Submitted: 18.06.2023. Revised: 30.06.2023. Accepted: 30.06.2023

cite as
Kovtun, A., S. Petrenko. 2023. Frequency of occurrence and identification of nematodes among entomopathogenic organisms in agrocoenoses of Ukraine. *GEO&BIO*, **24**: 214–224. [In English, with Ukrainian summary]

abstract

The research objects were entomopathogenic organisms (Nematoda, Fungi, Bacteria, and Insecta) collected in agrocoenoses in different regions of Ukraine during 2016–2018 and 2020–2021. The following research materials were used: soil samples, soil live-traps, specimens of Galleria mellonella L., 1758 (Lepidoptera: Pyralidae) and potential host insects (Coleoptera: Elateridae, Tenebrionidae, Melolonthinae; Lepidoptera: Noctuidae). We analysed 312 samples (220 soil + 92 live-trap samples) and >100 specimens of potential host insects. Our data demonstrate that in soils of agrocoenoses, favourable conditions are created for the dispersal of entomopathogenic organisms. We report the frequency of occurrence of insect-pathogenic nematodes in agrocoenoses of Ukraine, and describe their identification and the specifics of pathology they cause to the insect Galleria mellonella in the context of other entomopathogenic organisms. The frequency of occurrence (% of samples) of entomopathogenic nematodes (genus Steinernema Travassos, 1927 and genus Heterorhabditis Poinar, 1976) in agrocoenoses was the highest among other organisms that caused infectious and parasitic diseases of insects and were found in 15% of the samples. Three species of entomopathogenic nematodes—Steinernema carpocapsae (Weiser, 1955) Wouts et al., 1982, Steinernema ex gr. 'glaseri', and Heterorhabditis bacteriophora Poinar, 1976—have been identified. We have found 8% of samples to contain fungal disease-causing agents (genera Beauveria Vuill., 1912, Metarhizium Sorokin, 1879, and Akanthomyces Lebert, 1858). The frequency of occurrence (%) of all remaining causative agents of infectious and parasitic diseases of insects, namely bacterial diseases and myiasis (infection of a fly larva) (Diptera: Tachinidae) were 3% and 2%, respectively. A mixed infection was detected in 2.5% of the total number of analysed samples; nematodoses-mycoses mixed infections were most often recorded. We have recorded the phenomenon of hyperparasitism with nematodosis-entomosis co-infection inside dead G. mellonella larvae for the first time.

© 2023 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.

Частота трапляння та ідентифікація нематод серед ентомопатогенних організмів у агроценозах України

Андрій Ковтун, Світлана Петренко

Резюме. Об'єктом досліджень були ентомопатогенні організми (Nematoda, Fungi, Bacteria, Insecta), виявлені в агроценозах різних регіонів України протягом 2016–2018, 2020–2021 років. Матеріалом для досліджень слугували проби ґрунту, ґрунтові «живі» пастки, зразки тест-комах *Galleria mellonella* L., 1758 (Lepidoptera: Pyralidae) та потенційних комах-хазяїв різних видів (Coleoptera: Elateridae, Tenebrionidae, Melolonthinae; Lepidoptera: Noctuidae). Упродовж досліджень проаналізовано 312 проб (220 ґрунтових проб та 92 «живих» пасток), більше 100 екземплярів потенційних комах-хазяїв. Встановлено, що у ґрунтах агроценозів створюються сприятливі умови для розселення ентомопатогенних організмів. Охарактеризовано частоту трапляння нематод, що є патогенами комах в агроценозах України, їх ідентифікацію та особливості прояву патологічних ознак на комасі *Galleria mellonella* та інших ентомопатогенних організмів. Частота трапляння (% проб) ентомопатогенних нематод (збудники — нематоди з родів *Steinernema* Travassos, 1927 та *Heterorhabditis* Poinar, 1976) в агроценозах була найвищою — 15% серед усіх інших ентомопатогенних організмів, що зумовлювали інфекційні та паразитарні захворювання комах. Виявлені ізоляти ентомопатогенних нематод віднесено до трьох видів — *Steinernema carpocapsae* (Weiser, 1955) Wouts et al., 1982, *Steinernema* ex gr. *glaseri*, та *Heterorhabditis bacteriophora* Poinar, 1976. Дещо нижче (8%) припадало на грибкові патогени, що призводили до різних мікозів (збудники — *Beauveria* Vuill., 1912, *Metarhizium* Sorokin, 1879 та *Akanthomyces* Lebert, 1858). Частота трапляння (%) решти збудників інфекційних та паразитарних захворювань комах — бактерій (бактеріози) та личинки паразитичних мух (Diptera: Tachinidae) (ентомози, міази) сягала 3% та 2% відповідно. Мікст-інфекція виявлена у 2,5% від загальної кількості досліджених проб, найчастіше реєструвалися нематодози із мікозами. Уперше зареєстровано явище гіперпаразитизму у тілі загиблих личинок *G. mellonella* при змішаній нематодозно-ентомозній інфекції.

Ключові слова: частота трапляння, ентомопатогенні нематоди, патологія комах, агроценози.

Адреса для зв'язку: Андрій Ковтун; Одеський державний аграрний університет; вул. Пантелеймонівська 13, Одеса, 65012 Україна; Email: andrii_kovtun@ukr.net; orcid: 0000-0002-6119-860X

Introduction

The composition of the heterotrophic part of any biocoenosis is highly diverse and dynamic. In many cases, certain species that are part of the zoocoenosis and microbiocoenosis of an ecosystem form active parasitic complexes—interaction of the predator–prey and parasite–host types, which positively affect the stability and diversity of biological species of biocoenoses [Wall *et al.* 2015]. Entomopathogenic organisms plays an important role in the soil environment of ecosystems, leading to various infectious and parasitic diseases of helminth (nematodoses), fungal (mycoses), bacterial (bacterioses), viral (viroses), and protozoan (protozoan diseases) etiology [Padiy 2001; Deka *et al.* 2021].

Insect diseases have a significant impact on population dynamics in nature and culture. In nature, insect diseases often have a rather complex etiology, as they are often caused by several pathogens (i.e. mixed infection). This contributes to the faster development of epizootic processes that cover large areas, affect behaviour and physiology, and lead to profound changes in the host body [Telenga 1955; Zlotin 1989; Spescha *et al.* 2023; Puza & Tarasco 2023].

The parasitism of helminths, in particular nematodes, in insects is an interesting biological and economically important phenomenon. Worm infection in insects is less common than in vertebrates and humans. This ecological group of nematodes has adapted to exist in the body of insects, causing nematode infections (i.e. nematodoses) [Polozhencev 1956; Spiridonov 2001]. The body of nematodes is transparent, filamentous or spindle-shaped, tapering to one or both ends, round in cross-section, covered with a dense cuticle, and varies in length from several tens of micrometers to 35 cm. In total, there are more than 1000 species of entomoparasitic nematodes that are somehow associated with insects—from casual relations to parasitic forms that parasitize them at all stages of their development from egg to adult, while concentrating in various organs and tissues in the form of eggs, larvae,

or adults. They affect insects from more than 100 families of 21 orders, including the vast majority of beetles, lepidopterans, dipterans, and others [Zlotin 1989].

Representatives of two families of rhabditid worms (Nematoda: Rhabditida)—Steienernematidae and Heterorhabditidae—have the greatest impact among the entire ecological group of entomonematodes on reducing the number of insects [Spiridonov 2001]. Due to their obligate mutualistic relationship with intestinal symbiont bacteria of the family Enterobacteriaceae Rahn, 1937, they are able to kill insects and develop in their bodies, which allows them to be used in practical purposes as a biological method of plant protection against economically important insect pests.

For a long time, these nematodes have remained poorly studied due to the complexity of their detection and diagnosis, which is related to the specifics of their biology. Entomopathogenic nematodes (Steienernematidae and Heterorhabditidae) are characterised by a secretive lifestyle as the development of infective juveniles (dauer larvae) and adults is separated in space and time, and therefore either only infective juveniles are found in soil or their adult stages are found inside larvae and pupae of insect hosts. Accordingly, the first findings of entomopathogenic nematodes were associated with the analysis of the causes of death of various insects, their dissection and subsequent isolation from the cadavers of victims. The researchers began to examine soils to isolate infective juveniles only after the life cycles of their development were clearly established [Poinar & Grewal 2012].

In nature, the chance of finding insects infected with nematodes are on average less than 3%, unless a widespread natural epizootic occurs in insects with a significant extent of infestation or a large sample size of the insects is examined [Orozco *et al.* 2014]. One striking example and confirmation of this is the survey by Nielsen & Philipsen [2003], which was conducted in agrocoenoses in Denmark to obtain information on the possible impact of entomopathogenic nematodes on pest populations, mainly on the cabbage root fly *Delia radicum* L., 1758 (Diptera: Anthomyiidae). Over the course of two years, more than 6000 insect specimens were collected and analysed, of which 4000 specimens belonged to *D. radicum*. The results of the study showed that 69 specimens of different insect species were infected with entomopathogenic nematodes (Steienernematidae), including only 4 specimens of *Delia radicum*.

So far, four species of entomopathogenic nematodes (Steienernematidae and Heterorhabditidae) have been recorded in Ukraine: *Steinernema carpocapsae* (Weiser, 1955) Wouts et al. 1982, *Steinernema feltiae* (Filipjev, 1934) Wouts et al. 1982, *Steinernema arenarium* (Artyukhovsky, 1967) Wouts et al. 1982, and *Heterorhabditis bacteriophora* Poinar, 1976 [Stefanovska 2007; Anonymous 2012; Yakovlev *et al.* 2014; Sigareva *et al.* 2019]. All findings of entomopathogenic nematodes were associated with the analysis of soil samples collected in different biocoenoses in Ukraine. No entomological surveys with subsequent determination of the causes of death and selection of dead individuals based on signs of damage typical for entomopathogenic nematodes have been conducted, and this information remains a 'white spot' in agricultural entomology and nematology in Ukraine.

The aim of this research is to study the frequency of occurrence of entomopathogenic nematodes in agrocoenoses of Ukraine, their identification and specifics of pathology they cause to the insect *Galleria mellonella* in the context of other entomopathogenic organisms that cause lethal infectious and parasitic diseases of insects.

Materials and Methods

The study is based on the materials of fragmentary surveys of agrocoenoses (annual row and field crops—cereals and legumes, technical crops, vegetable, as well as perennial plants of orchards and decorative plantations) in the summer–autumn period of 2016–2018 and 2020–2021. The surveyed agrocoenoses were located within the main soil-climatic zones of Ukraine (administrative regions, i.e. oblasts): Zhytomyr, Kyiv, Chernihiv, Cherkasy, Khmelnytskyi, Vinnytsia, and Odesa) (Fig. 1).

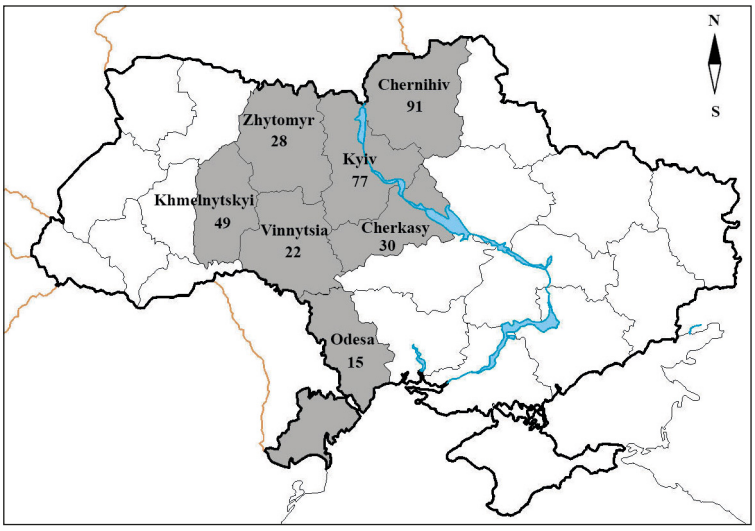


Fig. 1. Map of soil sample collection and soil live-traps. The numbers indicate the number of analysed samples.

Рис. 1. Карта-схема відбору ґрунтових проб та закладання «живих» пасток. Цифри — кількість відібраних проб.

The material for the study included soil samples, soil live-traps, test insect *Galleria mellonella* L., 1758 (Lepidoptera: Pyralidae) specimens and potential host insects of various species (Coleoptera: Elateridae, Tenebrionidae, Melolonthinae; Lepidoptera: Noctuidae), as well as entomopathogenic organisms (Nematoda, Fungi, Bacteria, and Insecta) that cause lethal infectious and parasitic diseases of insects.

Soil samples for the study were collected randomly using a shovel: for the formation of a composite sample (volume of approximately 500 cm^3), 5 single point samples were collected from an area of 4 m^2 in the top 15–30 cm of soil (for field crops) or 40 cm and in a radius of 1 m around the trunks of individual trees and bushes (for orchard and decorative perennial plants) [Orozco *et al.* 2014]. In addition, soil live-traps in the form of metal spherical capsules (tea ball strainers) with *G. mellonella* larvae at the final instar stage (weighing 0.20 ± 0.03 g) were embedded in the topsoil (10–30 cm). *G. mellonella* were cultured in a thermostat at 27–30 °C on a natural wax raw material in the laboratory. After 5–6 days, the test insects were dug up for further analysis in the laboratory. We also collected sick and dead soil insects, mainly crop pests (Coleoptera: Elateridae, Tenebrionidae, Melolonthinae; Lepidoptera: Noctuidae) with further determination of the cause of death. In total, 312 samples (220 soil samples and 92 soil live-traps) were processed, and more than 100 specimens of potential host insects were analysed.

The isolation of entomopathogens from the collected soil samples/soil live-traps was carried out by the biotesting method using susceptible to microbial infections greater wax moth larvae (*Galleria mellonella*) under laboratory conditions [Orozco *et al.* 2014; Correa *et al.* 2022]. Once the insects had died, their cadavers were either placed in a White trap [White 1927] to isolate entomopathogenic nematodes or immediately processed following classic dissection techniques [Lazarevskaya 1962] under an MBS-9 stereoscopic microscope and tissues were scrutinised for pathogens.

The differentiation of the detected infectious and parasitic diseases caused by a variety of etiological agents was carried out according to the macroscopic pathological changes (using a magnifying glass [10×] or stereoscopic microscope MBS–9) observed in the infected and dead larvae of the genus *Galleria* during the penetration into the body and subsequent development of agents [Shtejnhauz 1952]. The main pathologies revealed include the following: changes in the colour of the outer surface (or epicuticle); changes in the size, shape, and consistency of the body; presence of a specific smell of the test insects; auxiliary signs related to behavioural features (e.g. mobility, feeding); posture changes; and other changes.

The identification of isolated entomopathogens (at genus/species level) was carried out by the appearance of *G. mellonella* test insects killed by them after infection, as well as by the features of

morphological characteristics of entomopathogens using light microscopy (Carl Zeiss Primo Star microscope, 100×–1000×). Different special keys were used for the identification of entomopathogens, with special attention paid to nematode identification. The external cuticular structure, trophic-sensory part of the body, trophic-genital part of the body, and caudal part of the body were examined for species identification of entomopathogenic nematodes, along with different morphometric parameters of adult generations (primarily males, ♂) and infective third-stage larvae (L3), using special keys for entomopathogenic nematodes (Steienernematidae and Heterorhabditidae) [Nguyen & Smart 1996; Nguyen *et al.* 2007]. The following abbreviations and ratios were used: n, number of specimens measured; L, body length; W, maximum body width; EP, distance from the anterior end to the secretory-excretory pore; ES, pharynx length; TL, tail length; ABW, anal body width; SL, spicule length; and GL, gubernaculum length. Additionally, four indices were calculated: D% = (EP/ES) × 100; E% = (EP/TL) × 100; GS% = (GL/SL) × 100; SW% = (SL/ABW) × 100. The study of the species composition and frequency of occurrence of entomopathogens was conducted at the Laboratory of Nematology of the Institute of Plant Protection, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, and in the Department of Horticulture, Viticulture, Biology, and Chemistry of the Faculty of Agrobiotechnology of Odesa State Agrarian University.

The frequency of occurrence (F, %) of entomopathogenic organisms was calculated as the ratio of the number of positive samples (containing entomopathogenic species) to the total number of samples collected:

$$F = n / N \times 100\ (\%),$$

where *F* is the frequency index; *n* is the number of positive samples with entomopathogens; and *N* is the total number of samples collected.

To describe the general quantitative patterns, we used standard statistical measures: *M*, mean value; *min*, minimum value; and *max*, maximum value.

The individual stages of the study were recorded by photographing with a digital camera Olympus SH-21 connected to a stereomicroscope MBS-9.

Results and Discussion

The study has revealed that of the 312 samples analysed, 30.5% were positive for the presence of various entomopathogenic organisms that cause infectious and parasitic diseases of insects in the form of mono- and mixed infections (Fig. 2–3). Nematode infections have the highest rate (15%, see Fig. 2) and are caused by representatives of the genera *Steinernema* Travassos, 1927 and *Heterorhabditis* Poinar, 1976 (Rhabditida: Steienernematidae and Heterorhabditidae). It is known that the symptoms observed in insects when they are infected by entomopathogenic organisms depend on the species of the parasite (pathogen), and on the developmental stage, age, and species of the host insect.

The main obvious signs of nematode infection in *G. mellonella* larvae were as follows: a characteristic change in the colour of the outer surfaces of the body of infected larvae to red-raspberry (typical for *Heterorhabditis* spp.) or various gradations of grey, or yellowish (typical for *Steinernema* spp.); changes in the size and shape of insect cadavers (infected individuals slightly increase in volume, the bodies swelled and acquired a soft, elastic rubber-like consistency as the internal organs under the influence of symbiont bacteria turned into a cloudy liquid; and the absence of any specific smell in the nematode-killed insect larvae (Fig. 3).

The identified isolates of entomopathogenic nematodes from agrocoenoses of different zones and regions of the country, based on the study of morphological and morphometric parameters (Table 1–2), were assigned to three species: *Steinernema carpocapsae*, *Steinernema* ex gr. '*glaseri*', and *Heterorhabditis bacteriophora*. The species *S. carpocapsae* is a common and widespread, while the other two are less common. It was found that entomopathogenic nematodes exhibit considerable variability in many of the analysed morphological characters and morphometric indices (see Table 1–2),

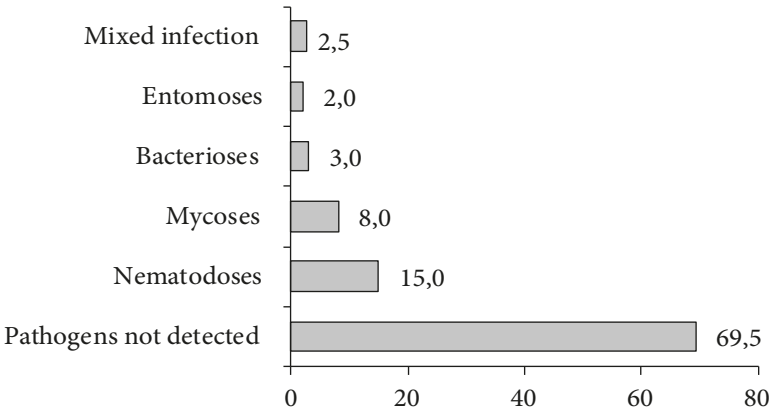


Fig. 2. The ratio of various causative agents of infectious and parasitic diseases among the larvae of *Galleria mellonella* in the form of mono- and mixed infection (%) found in the soil samples and live-traps (from agricultural soils of Ukraine in 2016–2018, 2020–2021).

Рис. 2. Співвідношення інфекційних та паразитарних збудників захворювань серед личинок *Galleria mellonella* у формі моно- і змішаної (мікст) інфекції (%) виявлених у пробах ґрунту та «живих» пастках (із ґрунтів агроценозів України 2016–2018, 2020–2021 років).

which complicated the process of identification of individual isolates. In particular, this applies to *Steinernema* ex gr. '*glaseri*'. According to the preliminary morphological characters and morphometric parameters of infective third-stage larvae (L3), we assigned this isolate to the morphological group '*glaseri*'. Currently, there are five such groups (*glaseri*, *feltiae*, *intermedium*, *carpocapsae*, and *bicornutum*), which show the relationship between certain close species of entomopathogenic nematodes of the genus *Steinernema*, and are based on the body length of infective third-stage larvae (L3) [Nguyen *et al.* 2007].

In addition to nematode infection, numerous cases of mycoses were diagnosed in the samples (8% of all the examined samples), which are caused by the following fungal pathogens (Fig. 2–3): the causative agent of white muscardine disease—species of the genus *Beauveri*a Vuill, 1912 (Hypocreales: Clavicipitaceae) (see: Fig. 3, *1–3*); the causative agent of green muscardine disease—species of the genus *Metarhizium* Sorokin, 1879 (Hypocreales: Clavicipitaceae) and the genus *Akanthomyces* Lebert, 1858 (Hypocreales: Cordycipitaceae). In cases of mycoses, the bodies of insects germinated with filamentous hyphae of the fungus, thus becoming dense (mummified) and fragile, and are difficult to be separated from the substrate. Externally, depending on the pathogen, insect cadavers were covered with a white or green spore coating (see: Fig. 3). Among the mycoses, the most widespread are entomophthorosis caused by members of the family Entomophthoraceae and muscardinosis caused by species of the genus *Bauveria* Vuillemin, 1912; less common are mycoses caused by fungi of the genus *Cordyceps* Fries, 1818 [Pérez-González *et al.* 2014; Tkaczuk *et al.* 2016; Korosi *et al.* 2019; Mantzoukas *et al.* 2022].

The analysis of the appearance of some dead test insects made it possible to reveal the bacterial nature of the diseases (bacterioses), which accounted for 3% of all the examined samples (see: Fig. 2–3). In case of bacterioses, freshly killed insect larvae became lethargic and their bodies became slightly darker. The hypodermal cells of the dead insects remained dense, as the skin did not break, and the cadavers had a specific smell of rotting [Abdelgaffar *et al.* 2022].

In addition, during the research period, we recorded cases of natural infection with entomoses (called miases) caused by the parasitisation of endoparasitic dipteran larvae (Diptera: Tachinidae), which account for 2% of the total number of samples examined (Fig. 2).

Occasionally, mixed infection was observed, caused by several pathogens, such as nematodes and fungi, or nematodes and endoparasitic fly larvae. Mixed infection was detected in 2.5% of the total number of samples examined (see: Fig. 2), with the highest rate of infection of the insect *G. mellonella* with nematodoses-mycoses (called muscardinoses). As it was already mentioned, mixed infection is quite common among insect pathologies, which leads to deeper changes in the victim's body, affects the development and number of the offspring, and contributes to the faster development of epizootics [Diachenko & Padiy 2001; Spescha *et al.* 2023; Puza & Tarasco 2023]. According to our observations,

in the case of entomophagy–nematode parasitic association in nematodosis with entomosis (miasis), we can speak of the phenomenon of hyperparasitism in natural conditions, since the larvae of the parasitic dipteran that infected *G. mellonella*, in turn, were infected with entomopathogenic nematodes in the body of the dead insects. Such case of a mixed infection is not mentioned in the recent scientific literature at all. This fact is of considerable scientific and practical interest, since, for example, it allows for a more rational combined use of both groups of biological pest control agents to increase their insecticidal effectiveness.

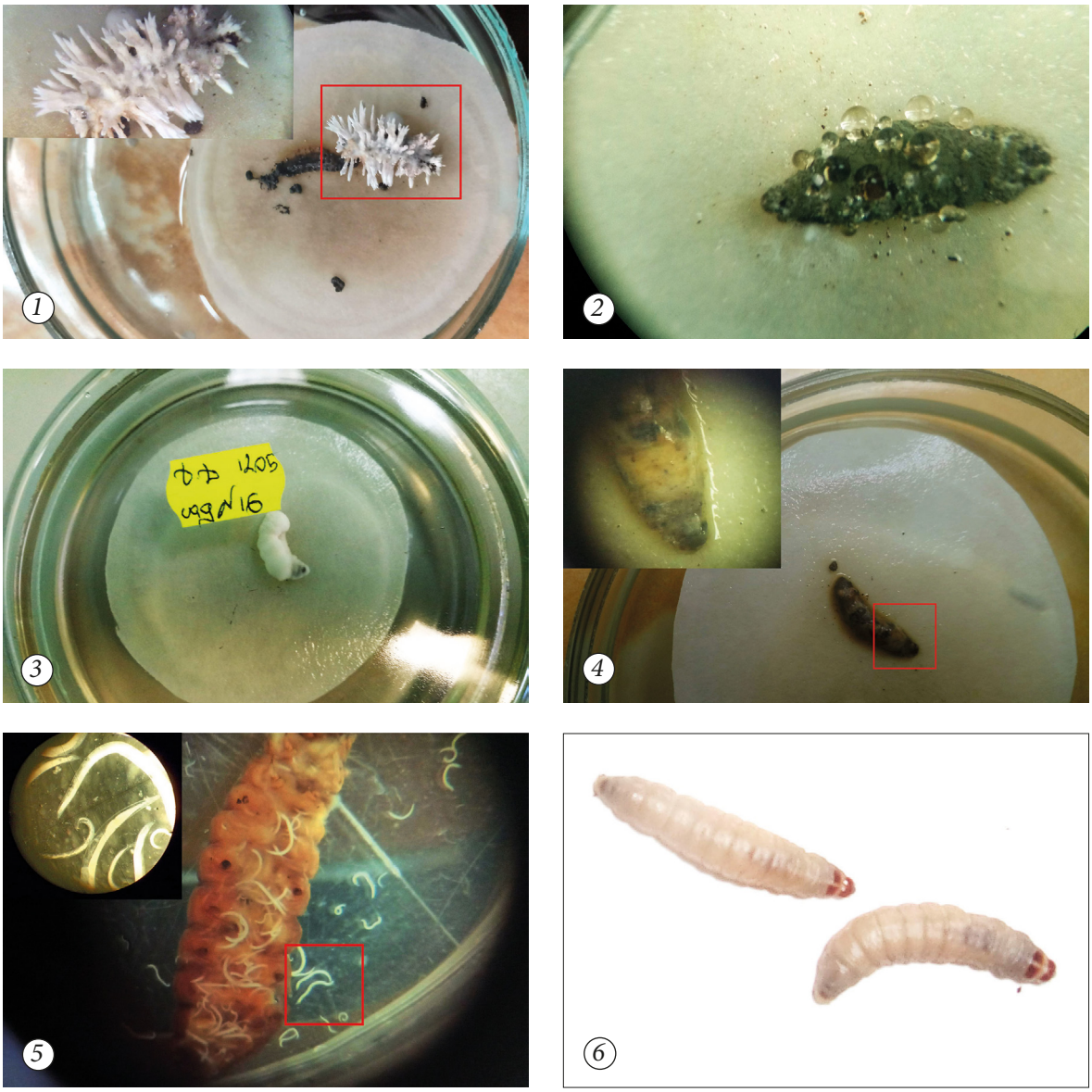


Fig. 3. Manifestation of different infectious and parasitic pathologies in larvae of the insect *Galleria mellonella*: (*1-3*) mycoses caused by *Akanthomyces* sp. (*1*), *Metarhizium* sp. (*2*), and *Beauveria* sp. (*3*); (*4*) bacteriosis; (*5*) nematodosis caused by *Heterorhabditis* sp.; (*6*) uninfected larvae of *G. mellonella* (control). Photo by the authors.

Рис. 3. Прояв різних інфекційних та паразитарних патологій на личинках тест-комахи *Galleria mellonella*: (*1-3*) мікози: (*1*) збудник *Akanthomyces* sp., (*2*) збудник *Metarhizium* sp., (*3*) збудник *Beauveria* sp.; (*4*) бактеріоз; (*5*) нематодоз (збудник *Heterorhabditis* sp.); (*6*) не уражені особини *G. mellonella* (контроль). Оригінал.

Table 1. **Comparative morphometric characters of infective juveniles and first generation males among the populations of** *Steinernema carpocapsae* **from agrocoenoses of different zones and regions of Ukraine***

Таблиця 1. **Порівняльна морфометрична характеристика інвазійних личинок та самців першого покоління серед популяцій** *Steinernema carpocapsae* **із агроценозів різних зон та регіонів України***

Character	Polissia		Forest–steppe
	Zhytomyr Oblast (strain Ovr–1)	Chernihiv Oblast (strain Mor–1)	Kyiv Oblast (strain DD–5)
Infective juveniles (n = 10)			
L	530 (516–548)	522 (445–550)	527 (513–552)
W	24 (21–27)	22 (19–26)	23.5 (21.3–26.4)
EP	36.2 (32.4–39)	31.6 (30–37.4)	33 (30–36)
ES	105 (102–108)	100 (96–110)	107 (102–113)
TL	50.5 (47.5–55)	46 (44–51)	48.5 (46–59)
ABW	25 (17–36)	28 (19–34)	28.6 (19–32)
D%	35 (34–38)	31 (30–37)	30 (26–32)
E%	70 (64–78)	69 (60–77)	65 (60–72)
First generation males (n = 10)			
L	1282 (1074–1378)	1510 (1110–1766)	1293 (1124–1424)
W	170 (140–182)	135 (78–168)	113 (96–126)
TL	21.5 (15–27)	25 (18–30)	19 (16–20,4)
ABW	59 (44–73)	52 (44–73)	62 (44–73)
SL	67 (66–68)	67.9 (66–72)	61,3 (57.6–63)
GL	42 (39–44)	45 (42–54)	42 (38–45)
EP	66 (64–84)	69 (60–73)	60 (55–65)
ES	165 (140–196)	168 (138–189)	141 (125–148)
D%	45 (40–50)	41 (32–49)	39 (37–41)
E%	33 (27–38)	29 (22–39)	25 (24–26)
GS%	60 (57–71)	67 (60–75)	71 (63–84)
SW%	122 (110–136)	130 (114–140)	98 (91–113)

* All measurements are given in μm as M (min–max).

* Вимірювання наведено в мкм і представлено у формі: M (min–max).

Table 2. **Comparative morphometric characters of infective juveniles and second generation males among the populations of** *Heterorhabditis bacteriophora* **from different zones and regions of Ukraine***

Таблиця 2. **Порівняльна морфометрична характеристика інвазійних личинок та самців другого покоління серед популяцій** *Heterorhabditis bacteriophora* **із різних зон та регіонів України***

Character	Polissia		Forest–steppe
	Zhytomyr Oblast (strain Ovr–2)	Chernihiv Oblast (strain Ost–4)	Kyiv Oblast (strain DD–14)
Infective juveniles (n = 10)			
L	550 (506–610)	512 (504–520)	600 (520–660)
W	21.4 (19–24)	20.3 (19–22)	23 (21–25)
EP	100 (82–106)	89 (86.4–90)	105 (89–108)
ES	117 (110–120)	109 (106–112)	116 (108–120)
TL	85 (80–90)	90 (80–95)	94.4 (78–114)
ABW	16 (14–19)	14 (13–17)	14 (13–16)
D%	84 (82–89)	81 (79–85)	93 (70–100)
E%	110 (100–120)	100 (90–110)	108 (100–117)
Second generation males (n = 10)			
L	968 (890–1026)	850 (770–940)	925 (895–1018)
W	44.7 (42–48)	47.5 (45–48)	57.5 (39.5–97)
TL	22 (18–24)	27 (24–31)	35.5 (31–42.3)
ABW	23.2 (18.3–26.7)	21 (13–25.5)	23.1 (19–25.4)
SL	38.3 (37–43)	42.6 (37–48)	41.2 (33.8–46.5)
GL	22.7 (19–24)	24,3 (23–26)	21.5 (18.3–23.9)
EP	134 (107–162)	136.4 (115.5–169.0)	97.6 (84.5–119.7)
ES	100 (89–102)	103 (98–107)	115.3 (101.4–139.4)
D%	118.4 (104.8–150.7)	86.8 (77.9–107.6)	92 (77.9–107.6)
E%	448 (334–611)	489 (402–585)	470 (394–570)
GS%	52.2 (43.7–57.7)	4.8 (43–61)	49.8 (42.3–65)
SW%	179.8 (150.2–220.4)	180.6 (117.6–230.8)	180.6 (117.6–230.8)

* All measurements are given in μm as M (min–max).

* Вимірювання наведено в мкм і представлено у формі: M (min-max).

It should also be emphasised that when examining specimens of dead *G. mellonella* larvae, we have found the following facts: in two cases, no entomopathogenic nematodes were found inside the body of *Galleria* individuals despite clear signs of infection. In particular, the appearance of the dead insects (red-raspberry colour of the outer surfaces) and the typical appearance of the remains of the internal tissues and organs of the insect, which were decomposed by symbiont bacteria, clearly indicated nematodosis (etiological agent—*Heterorhabditis* sp.). The absence of entomopathogenic nematodes in these cases, in our opinion, can be explained by the fact that a protective immune response was triggered in these insects to the invasion of the entomopathogen, namely the encapsulation of nematodes with their subsequent melanisation [Ebrahimi *et al.* 2011]. Nevertheless, the entomopathogenic nematode infective juveniles, after penetrating the insect body, managed to inoculate symbiotic bacteria into the haemocoel before encapsulation occurred. It is highly likely that the success of overcoming the protective barrier can be explained by the small number of nematodes penetrating the host body and their low pathogenicity.

The results of our surveys of various agrocoenoses show that, in general, perennial agricultural plantations are more populated with entomopathogenic organisms than field crops— 82.7% vs 17.3% of all positive samples, respectively. In our opinion, one possible explanation of this difference is that perennial plantations are characterised by a richer arthropod diversity, which directly ensure the recovery of entomopathogen populations (entomopathogenic nematodes in particular).

Equally relevant and complex is the issue of the frequency of infection of pests by entomopathogenic nematodes and their host insect specificity in biocoenoses. Despite the fact that the first findings of entomopathogenic nematodes were obtained from dead insects, it was later found that the level of insect infection in natural populations is not high.

Laboratory analysis of soil-living insect pests collected and captured in nature by us for their infection with entomopathogens did not reveal any infections. We believe that this is primarily due to the small sample size of the insects related to the fact that we did not conduct entomological surveys (insect surveys) in agrocoenoses, but simply selected sick and dead insects that came into our field of view (mostly well-marked, large in size), with the subsequent establishment of the causes of death. In different surveyed areas, the composition of harmful insects was quite diverse. The most numerous among them were as follows: click beetle larvae (Coleoptera: Elateridae), darkling beetle larvae (Coleoptera: Tenebrionidae), and imago and larvae (known as white grubs) of cockchafer beetles (Coleoptera: Scarabaeoidea: Melolonthinae). In addition to the above insects, caterpillars of the scoops (also referred to as cutworm) (Lepidoptera: Noctuidae), some crickets (Orthoptera: Gryllidae), ants (Hymenoptera: Formicidae), fly pupae (Diptera), and others were found in the topsoil layer. All of the studied insects, with some exceptions, according to the literature [Artyukhovskiy 1967; Veremchuk 1969], could potentially be hosts of entomopathogenic nematodes.

Conclusions

The results of the research indicate a rather significant level of occurrence of entomopathogenic nematodes in Ukrainian agrocoenoses compared to other groups of entomopathogenic organisms.

The detected isolates of entomopathogenic nematodes were assigned to three species, such as *Steinernema carpocapsae*, *Steinernema* ex gr. '*glaseri*', and *Heterorhabditis bacteriophora*. The species *S. carpocapsae* is common and widespread, while the other two are less common and rare.

For the first time, the phenomenon of hyperparasitism in the body of dead insects of the species *Galleria mellonella* was recorded in the detected mixed infection, namely entomophagy–nematode parasitic association. Of considerable scientific and practical interest is the fact that we have identified in agrocoenoses different subpopulations of entomopathogenic nematodes from the genera *Steinernema* and *Heterorhabditis*, which are promising bioagents for controlling harmful insect species.

Acknowledgements

The study was supported by the Institute of Plant Protection, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine and carried out as part of the project '12.01.00.21.P. Development of preventive and controlling anti-nematode measures in the phytosanitary security system' (No. 0116U003530).

References

Abdelgaffar, H., T. Jackson, J. L. Jurat-Fuentes. 2022. Bacterial diseases of insects. *In:* A. F. Rowley et al. (eds). *Invertebrate Pathology.* Oxford University Press, New York, 286–307. https://doi.org/10.1093/oso/9780198853756.003.0011

Anonymous, 2012. Agricultural nematology as a branch of plant protection science [On the occasion of Dina Sigareva's anniversary]. *Karantin i zahist roslin,* No. 8: 22–28. [In Ukrainian]

Artyukhovskiy, A. K. 1967. Neoaplectana arenaria nov. sp. (Steinernematidae, Nematoda) as causative agent of the nematode disease of the May bug in the Voronezh region. *Proceedings of the Voronezh State Reserve*, **15**: 94–100. [In Russian]

Correa, T., F. Santos, M. Camargo, S. Quinelato, V. R. E. P. Bittencourt, P. Golo. 2022. Comparison of methods for isolating entomopathogenic fungi from soil samples. *Journal of Visualized Experiments*, **6** (179): e63353 [1–10]. https://doi.org/10.3791/63353

Deka, B., C. Baruah, A. Babu. 2021. Entomopathogenic microorganisms: their role in insect pest management. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, **31** (1): 1–8. https://doi.org/10.1186/s41938-021-00466-7

Diachenko, M. P., M. M. Padiy (eds). 2001. *Biological protection of plants*. Biala Tserkva, 1–213. [In Ukrainian]

Ebrahimi, L., G. Niknam, G. Dunphy. 2011. Hemocyte responses of the Colorado potato beetle, Leptinotarsa decemlineata, and the greater wax moth, Galleria mellonella, to the entomopathogenic nematodes, Steinernema feltiae and Heterorhabditis bacteriophora. *Journal of Insect Science*, **11** (75): 1–13. https://doi.org/10.1673/031.011.7501

Korosi, G., B. A. L. Wilson, K. Powell, G. Ash, A. Reineke, S. Savocchia. 2019. Occurrence and diversity of entomopathogenic fungi (Beauveria spp. and Metarhizium spp.) in Australian vineyard soils. *Journal of Invertebrate Pathology*, **164**: 69–77. https://doi.org/10.1016/j.jip.2019.05.002

Lazarevskaya, S. 1962. To the studying method of insect nematodes. *Transactions of the Helminthology Laboratory, Academy of Sciences of the USSR*, **12**: 43–51. [In Russian]

Mantzoukas, S., F. Kitsiou, D. Natsiopoulos, P. A. Eliopoulos. 2022. Entomopathogenic fungi: interactions and applications. *Encyclopedia*, **2** (2): 646–656. https://doi.org/10.3390/encyclopedia2020044

Nguyen, K. B., D. J. Hunt, Z. Mráček. 2007. Steinernematidae: species descriptions. *In:* Nguyen, K. B., D. J. Hunt (eds). *Entomopathogenic Nematodes: Systematics, Phylogeny and Bacterial Symbionts. Nematology Monographs and Perspectives 5*. Brill, Leiden, 121–609. https://doi.org/10.1163/ej.9789004152939.i-816.29

Nguyen, K.B., Jr G. C. Smart. 1996. Identification of entomopathogenic nematodes in the Steinernematidae and Heterorhabditidae (Nematoda: Rhabditida). *Journal of nematology*, **28** (3): 286–300.

Nielsen, O., H. Philipsen. 2003. Danish surveys on insects naturally infected with entomopathogenic nematodes. *Insect Pathogens and Insect Parasitic Nematodes (IOBC-WPRS Bulletin),* **26** (1): 131–136.

Orozco, R., M. Lee, P. Stock. 2014. Soil sampling and isolation of entomopathogenic nematodes (Steinernematidae, Heterorhabditidae). *Journal of Visualized Experiments*, **89**: e52083 [1–8]. https://doi.org/10.3791/52083

Pérez-González, V. H., A. W. Guzmán-Franco, R. Alatorre-Rosas, J. Hernández-López, A. Hernández-López, [et al.]. 2014. Specific diversity of the entomopathogenic fungi Beauveria and Metarhizium in Mexican agricultural soils. *Journal of Invertebrate Pathology*, **119**: 54–61. https://doi.org/10.1016/j.jip.2014.04.004

Poinar, G., P. Grewal. 2012. History of entomopathogenic nematology. *Journal of Nematology*, **44** (2): 153–161.

Polozhencev, P. 1956. Worms as parasites of insects. *Priroda (Moskva)*, **12**: 102–104. [In Russian]

Puza, V., E. Tarasco. 2023. Interactions between entomopathogenic fungi and entomopathogenic nematodes. *Microorganisms*, **11** (163): 1–14. https://doi.org/10.3390/microorganisms11010163

Shtejnhauz, Je. 1952. *Insect Pathology.* Inostrannaja literatura, *Moskva*, 1–839. [In Russian]

Sigareva, D., A. Kovtun, V. Kornyushin. 2019. Occurrence of entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Steienernematidae, Heterorhabditidae) from agricultural ecosystems in Forest (Polissya) and Forest-Steppe natural zones of Ukraine. *Vestnik zoologii*, **53**: 285–296.

Spescha, A., M. Zwyssig, M. H. Hermida, A. Moix, P. Bruno, [et al.]. 2023. When Competitors Join Forces: Consortia of entomopathogenic microorganisms increase killing speed and mortality in leaf- and root-feeding insect hosts. *Microbial Ecology*, 1–14. https://doi.org/10.1007/s00248-023-02191-0

Spiridonov, S. 2001. Entomoparasitic and entomopathogenic nematodes. *In:* Glupov, V. V. (ed.). *Pathogens of Insects: Structural and Functional Aspects*. Kruglyj God, Moscow, 428–474. [In Russian]

Stefanovska, T. 2007. The efficiency of rearing entomopathogenic nematodes Steinernema carpocapsae and Heterhorabditis bacteriophora on Galleria melonella L. and Tenebrio molitor L. larvae. *Naukovi dopovidi NAU (electronic journal),* **2** (7): 1–11. [In Ukrainian]

Telenga, N. A. 1955. *Biological Method of Pest Control of Agricultural and Forest Crops.* Publishing house of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, Kyiv, 1–86. [In Russian]

Tkaczuk, C., A. Majchrowska-Safaryan, M. Harasimiuk. 2016. Występowanie oraz potencjał infekcyjny grzybów entomopatogenicznych w glebach z pól uprawnych, łąk i siedlisk leśnych. *Progress in Plant Protection*, **56** (1): 5–11. https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20163151006

Veremchuk, G. V. 1969. New species of entomopathogenic nematodes of the genus Neoaplectana (Rhabditida, Steinernematidae) from click beetle. *Proceedings of the Scientific Conference of the All-Union Society of Helminthologists. Part 1. USSR Academy of Sciences Publishing House, Moscow,* 44–50. [In Russian]

Wall, D. H., U. N. Nielsen, J. Six. 2015. Soil biodiversity and human health. *Nature*, **528**: 69–76. https://doi.org/10.1038/nature15744

White, G. 1927. A method for obtaining infective nematode larvae from cultures. *Science*, **66**: 302–303. https://doi.org/10.1126/science.66.1709.302.b

Yakovlev, Y., V. Kharchenko, Z. Mrácek. 2014. Findings of entomopathogenic nematodes (Rhabditida, Steinernematidae) in nature reserves in Ukraine. *Vestnik zoologii*, **48**: 167–173.

Zlotin, A. Z. 1989. *Technical Entomology.* Naukova dumka, Kyiv, 1–183. [In Russian]

GEO&BIO

2023 • vol. 24, pp 225–236
https://doi.org/10.53452/gb2415

Climatic limits for the present European distribution of the common hornbeam (*Carpinus betulus*), with special reference to Ukraine

Volodymyr Tytar

I. I. Schmalhausen Institute of Zoology, NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

article info

key words

Carpinus betulus; species distribution modelling; ecological niche; Ukraine, Maxent.

correspondence to

Volodymyr Tytar; I. I. Schmalhausen Institute of Zoology, NAS of Ulraine; 15 Bohdan Khmelnytsky Street, Kyiv, 01054 Ukraine;
Email: vtytar@gmail.com;
orcid: 0000-0002-0864-2548

article history

Submitted: 10.05.2023. Revised: 19.05.2023. Accepted: 30.06.2023.

cite as

Tytar, V. 2023. Climatic limits for the present European distribution of the common hornbeam (*Carpinus betulus*), with special reference to Ukraine. *GEO&BIO*, **24**: 225–236. [In English, with Ukrainian summary]

abstract

In this study, we used a comprehensive approach to detect the importance of diverse climatic parameters in controling the distribution of a forest tree species, exemplified by the common hornbeam (*Carpinus betulus* L.). Special reference has been made to Ukraine from where digitized data on the species is relatively scarce. In Ukraine, populations of the common hornbeam are found at the edge of its geographic range, primarily in forest-steppe ecotones, which are exposed to extreme climate with water shortages during the growing season and low temperatures in winter. Usually forests in these ecotones are highly fragmented and, in addition to climate impact, are heavily subjected to land use. Currently, in the east of the country, *C. betulus* is only very locally distributed, but it has been assumed that in the past there were several areas suitable for the persistence of the species. The main objectives of the present study were to model the European-wide ecological niche of the common hornbeam and investigate primary climatic factors that control the potential distribution of this tree in Ukraine. Using an ecological niche modelling approach, we consider to have reliably modeled the European-wide bioclimatic niche of the common hornbeam for predicting the response of species' geographical distribution to climate. Most contributing to the model were the mean monthly PET (potential evapotranspiration) of the coldest quarter, continentality, and annual PET. In terms of the 'Most Limiting Factor,' in Ukraine, continentality is crucial throughout the majority of the country (78%). Because the distribution of any species depends on variables related to climate, it is likely that the species could rapidly respond to climatic change. In this respect, the common hornbeam is no exception, as exemplified by the history of the species in Eastern Europe. Limiting factors and thresholds (particularly of PET indices) are bound to shift together with global climate change and bring in changes to the pattern of the common hornbeam distribution, especially at edges of its geographic range.

© 2023 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.

Кліматичні межі сучасного європейського поширення граба звичайного (*Carpinus betulus*) з особливою прив'язкою до України

Володимир Титар

Резюме. У цьому дослідженні ми використали комплексний підхід, щоб виявити вплив окремих кліматичних факторів на поширення видів лісових дерев. У якості прикладу ми взяли граб звичайний (*Carpinus betulus* L.). Особливу увагу було зроблено на Україну, де оцифрованих даних про вид відносно мало. В Україні популяції граба звичайного зустрічаються на межі ареалу, переважно в лісостепових екотонах, які зазнають дії екстремального клімату, який характеризується дефіцитом води протягом вегетаційного періоду та низькими температурами взимку. Зазвичай ліси в цих екотонах істотно фрагментовані та, окрім впливу клімату, зазнають значних втрат через негативні умови землекористування. Зараз на сході країни *C. betulus* поширений дуже локально, але припускається, що в минулому існувало кілька територій, придатних для збереження виду. Основними завданнями цього дослідження було моделювання загальноєвропейської екологічної ніші граба звичайного та дослідження основних кліматичних факторів, що визначають потенційне поширення цього виду дерев в Україні. Використовуючи методи моделювання екологічної ніші, ми вважаємо, що надійно змоделювали загальноєвропейську біокліматичну нішу звичайного граба, що дає підставу для прогнозування реакції цього виду на зміну клімату. Найбільший внесок у побудову модель внесли середні місячні ПЕТ (потенційна евапотранспірація) найхолоднішої чверті, континентальність і річний ПЕТ. З точки зору «найбільш обмежувального фактора», в Україні континентальність має вирішальне значення на більшій частині, а саме 78% території країни. Оскільки поширення будь-якого виду залежить від параметрів, пов'язаних із кліматом, цілком ймовірно, що переважна більшість видів може швидко реагувати на кліматичні зміни. У цьому відношенні граб звичайний не є винятком, прикладом чого є історія виду у Східній Європі. Лімітуючі фактори та порогові значення (зокрема індексів ПЕТ) неодмінно зміняться разом із глобальними змінами клімату та внесуть зміни в структуру поширення граба звичайного, особливо на периферії його ареалу.

Ключові слова: *Carpinus betulus*; моделювання поширення видів; екологічна ніша; Україна; Maxent.

Адреса для зв'язку: Володимир Титар; Інститут зоології ім. І. І. Шмальгаузена НАН України; вул. Богдана Хмельницького, 15, Київ, 01601 Україна; е-пошта: vtytar@gmail.com; orcid: 0000-0002-0864-2548

Introduction

Forests, which today cover 30.8 percent of the world's land surface [MacDicken *et al.* 2015], are being rapidly and directly transformed in many areas by ongoing climatic changes and impacts of expanding human populations and economies. Forest decline commonly involves multiple, interacting factors, ranging from drought to insect pests and diseases, often making the determination of a single cause unrealistic. However, abiotic stress factors are commonly responsible, with climate stresses thought to be a primary triggering factor [Desprez-Loustau *et al.* 2006; Raffa *et al.* 2008].

It is well known that the macrodistribution of plants is primarily controlled by climate [Woodward 1987; Prentice *et al.* 1992]. Vegetations have long been classified on the basis of climate, which results in several classification systems [e.g. Holdridge 1947; Thornthwaite 1948; Kira 1976]. Of various climatic factors, heat sum, water availability, and winter coldness have been suggested as primary limitations for plant distribution over the large scale [Woodward & Rochefort 1991].

Trees are foundational elements of forest ecosystems [Ellison *et al.* 2005], having important influences on the resource environment and ecological function, and understanding the relative roles of climate in controlling tree species distribution is a basis for predicting responses to potential climatic changes [Loehle & LeBlanc 1996; Austin 2002].

Because the present distributions of most tree species are strongly related to climate, long ago simple isotherm methods and/or comparisons of climatic maps with geographic ranges have been used to assess distributional and limiting factors in relation to climate [e.g. Hutchinson 1918; Koppen 1936; Huntley *et al.* 1995; Sykes *et al.* 1996; Simonov & Didukh 2001]. However, using these methods alone may be insufficient to explore the nuances of climatic controls on range limits of species.

Today species distribution models (SDMs) are the prime tools used to assess the spatial distribution of potentially suitable habitats for species, and to hypothesise how suitability is affected by the environment [Guisan & Thuiller 2005]. With the development of computer hardware and Internet speed, the current availability of species and climate information sharing systems has greatly enhanced the field of SDM. These tools generally correlate species' occurrence patterns with environmental variables, which are frequently selected from an array of 'bioclimatic' indices. In this study, we used this comprehensive approach to detect the importance of diverse climatic parameters in controlling the distribution of forest tree species, exemplified by the common hornbeam (*Carpinus betulus* L.), a notable component of many European forest ecosystems, with special reference to Ukraine from where digitized data on the species has been relatively scarce.

The common hornbeam is a cool summergreen nemoral mesophyte deciduous [Laurent *et al.* 2004], usually considered late-successional, tree, that frequently forms part of several types of mixed broad-leaf communities in European temperate summergreen forests. Forests of such kind are currently confined between ca. 55–60° and 40°N, distributed in the Boreal, Atlantic, Alpine, Mediterranean, Continental, and Pannonian floristic regions [European Commission 2013]. They are predominant in western and central Europe but also extend through Eastern Europe to the Ural Mountains [Hendrick 2001]. This large area of distribution broadly agrees with the main range of the common hornbeam, except for its absence in most of Iberia [Sikkema *et al.* 2016] and in areas stretching from eastern Ukraine towards the Urals [Vorobyov *et al.* 2008; Udra 2010]. Currently, *C. betulus* is only very locally distributed in eastern Ukraine, but it has been assumed that there were several areas suitable for the persistence of *C. betulus* in the past [Fedorova 1951]. Major environmental changes, coupled with human impact [Udra 1988; Pokorný 2005; Tonkov *et al.* 2013], are explanations of the progressive decline of *C. betulus* in Europe during the Late Holocene, and suggesting that modern hornbeam populations occurring in eastern Ukraine could be considered a relic of a larger distribution in the past. In Ukraine, populations of the common hornbeam found at the edge of its geographic range in forest-steppe ecotones are exposed to an extreme climate with water shortages during the growing season and low temperatures in winter. Usually forests in these ecotones are highly fragmented and, in addition to climate impact, are heavily subjected to land use.

The main objectives of the present study were to model the European-wide ecological niche of the common hornbeam and investigate primary climatic factors that control the potential distribution of this tree species in Ukraine.

Materials and Methods

Dataset

Georeferenced occurrence data were collected from the Global Biodiversity Information Facility (*Carpinus betulus* L. in GBIF Secretariat, 2017) and the EU-Forest, a high-resolution tree occurrence dataset for Europe [Mauri *et al.* 2017]. Unfortunately, these databases hold hardly any georeferenced records of the common hornbeam in Ukraine, therefore a search was undertaken to complement the information with point data from Ukraine using available internet resources, particularly of the State Forest Resources Agency of Ukraine (http://dklg.kmu.gov.ua), and published scientific literature containing explicit location data regarding the species [e.g. Vorobyov *et al.* 2008; Udra 2010; Mala 2012; and others]. This produced 124 georeferenced records for mainland Ukraine. In total 13 347 collected records were considered.

Not surprisingly, these occurrence points varied in spatial density due to variable sampling intensity over geography. As a result, and to avoid overemphasizing heavily on sampled area, we selected points for model calibration using a two-step subsampling regime to reduce sampling bias and spatial autocorrelation, which would produce models of lower rather than higher quality (Beck *et al.* 2013). In the first step, we collated records with a moderate coarse geographic resolution of 5 arc-min (0.08333°) using ENMTools [Warren *et al.* 2010]. The main reason for this was that there could have

been a sampling bias or error at a fine resolution (particularly in the GBIF database). Secondly, we used the OccurrenceThinner software (version 1.04) [Verbruggen *et al.* 2013], which reduces geographical bias in datasets by a probability-based procedure defined by a kernel density grid created in SAGA GIS software [Conrad *et al.* 2015]. This considerably reduced the original dataset to 6658 records.

Modelling algorithms

The algorithms used in this paper, Maxent [Phillips *et al.* 2006] and BIOCLIM [Nix 1986], have proven good performance and accuracy for such studies [Elith *et al.* 2011].

Maxent (Version 3.3.3k) is a machine learning algorithm [Phillips *et al.* 2006]. The main advantage of applying Maxent to the modelling of geographical species distributions in comparison with other methods is that it only needs presence data, besides the environmental layers. Pseudo-absence points (used instead of true absences) were randomly generated within a convex hull encompassing hornbeam presence points.

Maxent provides output data in various formats. The logistic format (values range from 0 to 1) is recommended, because it allows for an easier and potentially more accurate interpretation of habitat suitability compared to the other approaches [Baldwin 2009]. Maps of habitat suitability were imported into SAGA GIS and DIVA GIS [Hijmans *et al.* 2001].

Maxent modelling can determine the importance of environmental variables. In one option, the contribution for each variable can be determined by randomly permuting the values of that variable and measuring the resulting model performance. Better performance means that the model depends heavily on that variable (for explicitness values are normalized to give percentages). The second option uses a jackknife test and the regularized gain change during each iteration of the training algorithm. The environmental variable with the highest gain is considered to have the most useful information by itself, whereas the variable causing the largest decrease in the model's gain contains the most information not found in the other environmental variables. Both of these options are used to determine the importance of the environmental variables and to observe whether the predictive distribution responded to each variable as expected.

Maxent also allows the construction of response curves to illustrate the effect of selected variables on habitat suitability (consequently, on the probability of occurrence and giving an idea of where for each variable, under the constraints and conditions of the modelling situation, the focal species has it's optimum). These response curves consist of the specific environmental variable as the x-axis and, on the y-axis, the predicted probability of suitable conditions as defined by the logistic output. Upward trends for variables indicate a positive relationship; downward movements represent a negative relationship; and the magnitude of these movements indicates the strength of the relationship [Baldwin 2009].

An important part of determining the ability of niche models to predict the distribution of a species is having a measure of fit. The performance of the Maxent model is usually evaluated by the threshold-independent receiver operating characteristic (ROC) approach (calculating the area under the ROC curve (AUC) as a measure of prediction success). The ROC curve is a graphical method that represents the relationship between the false-positive fraction (one minus the specificity) and the sensitivity for a range of thresholds. It has a range of 0–1, with a value greater than 0.5 indicating a better-than-random performance event [Fielding & Bell 1997]. A rough classification guide is the traditional academic point system [Swets 1988]: poor (0.5–0.6), fair (0.6–0.7), good (0.7–0.8), very good (0.8–0.9) and excellent (0.9–1.0). A 10-fold cross validation was used to evaluate the fit goodness of the Maxent model in simulating the current potential suitable habitat with occurrence data and variables for the current environment. This method randomly partitions the original occurrence records into 10 subsets of equal size. Of the 10 subsets, one subset was used as testing data, while the remaining nine subsets are used as training data.

Maxent uses 'regularization' (the beta parameter) to avoid over-fitting data. Higher values of beta increase the 'smoothness' of species' responses to the environment. The default value of beta in Maxent is 1, although we applied values of 1, 2, 3, and 4. The final models have been selected, which incorporate a lesser number of correlated variables, and an optimum value of beta (see below).

The 'Most Limiting Factor' output, available in BIOCLIM (implemented in DIVA GIS), was also applied to detect which variable in Ukraine is the most critical for the inclusion of the grid cell within the resulting environmental envelope. The 'Most Limiting Factor' model outputs the variable with the lowest or highest score in each grid cell, for which there is a prediction assigning them a certain colour on the prediction map. For the cells that fall within the 0–100 percentile, the variable with the lowest percentile score is mapped.

Environmental variables

According to previous studies, there are many variables (including hydrological-thermal) that are thought to be relevant to species' ecology and geographic distribution. Nevertheless, the selection of biologically meaningful environmental variables that determine relative habitat suitability is a crucial aspect of the modelling pipeline. In this study, we have used a recently reconsidered (in terms of biological significance) set of 16 climatic and two topographic variables (the ENVIREM dataset), many of which are likely to have direct relevance to ecological or physiological processes determining species distributions [Title & Bemmels 2018].

The most important set of variables assessed in performance of models was identified using the *Maxent Variable Selection* package in R [Jueterbock *et al.* 2016]. The program first tests for Pearson correlation, then through an iterative process tests different regularization values, correlation and contribution of variables to determine the best possible set of variables by sample size corrected Akaike information criteria, AICc [Akaike 1974]. This procedure resulted in the selection of seven climatic variables included for further analyses (Table 1).

Table 1. **Environmental variables used in this study and their permutation contribution (%) to the model**
Таблиця 1. **Змінні навколишнього середовища, використані в цьому дослідженні, та їх пермутаційний внесок (%) у модель**

Variable abbreviation	Brief description	Units	Contribution (%)
aridityIndexThornthwaite	Thornthwaite aridity index: Index of the degree of water deficit below water need	–	5.1
continentality	Average temperature of warmest month minus the average temperature of coldest month	°C	26.7
growingDegDays5	Sum of mean monthly temperature for months with mean temperature greater than 5 °C multiplied by number of days	–	8.4
maxTempColdestMonth	Maximum temperature of the coldest month	°C*10	8.1
minTempWarmestMonth	Minimum temperature of the warmest month	°C*10	1.8
annPET	Annual potential evapotranspiration: a measure of the ability of the atmosphere to remove water through evapotranspiration processes, given unlimited moisture	mm/ year	21.1
PETColdestQuarter	Mean monthly PET (potential evapotranspiration) of coldest quarter	mm/ month	28.7

Results

The best model with fewer predictors (see above) for the European-wide ecological niche of the common hornbeam was obtained when the beta parameter equaled the default value of 1.0 (minimum AICc = 139 318.3). The Maxent model showed a reliable (or 'good') prediction with an AUC of 0.726 (SD = 0.007), greater than the 0.5 of a random model.

In terms of permutation importance, 'PETColdestQuarter' contributed most to the model (28.7%), followed by 'continentality' (26.7%) and 'annPET' (21.1%) (Table 1). These three variables collectively contributed 76.5% of the variance in the bioclimatic model simulating the geographical distribution of *C. betulus* in Europe.

The leading role of the first two was accordingly supported by the jackknife tests of variable importance: the environmental variable with the highest gain when used in isolation is 'PETColdestQuarter,' which therefore appears to have the most useful information by itself, whereas the environmental variable that decreases the gain the most when it is omitted is 'continentality,' which therefore appears to have the most information that is not present in any of the other variables used for building the model. The remaining four bioclimatic factors were less important in determining the geographical distribution of *C. betulus* (collectively, they explained 23.4% of the variance, 1.8–8.4% for each factor). The response curves of the first three most important climatic factors (PETColdestQuarter, continentality and annPET) are presented in Figs 1–3, showing a general hump-shaped relationship between the habitat suitability values and values of the corresponding climatic factors. Using a 50% habitat suitability threshold (Waltari & Guralnick 2009), suitable conditions for the distribution of the common hornbeam in Europe (in terms of the ENVIREM dataset) are PETColdestQuarter values ranging between 12.8–18.06 mm/month, continentality (15.07–18.86°C), and annPET (706.6–902.3 mm/year).

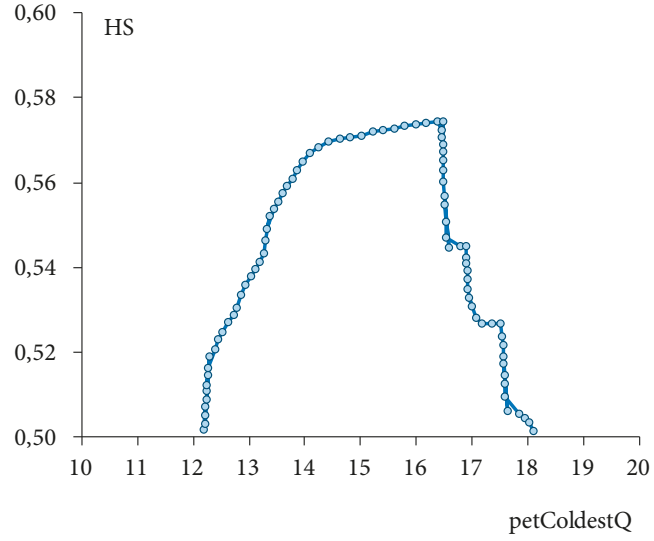


Fig. 1. Response curve of bioclimatic habitat suitability (HS) for mean monthly PET (potential evapotranspiration) of the coldest quarter: PETColdestQuarter (mm/month).

Рис. 1. Крива відгуку біокліматичної придатності середовища існування (HS) для середньомісячних значень ПЕТ (потенційної евапотранспірації) найхолоднішого кварталу року: PETColdestQuarter (мм/місяць).

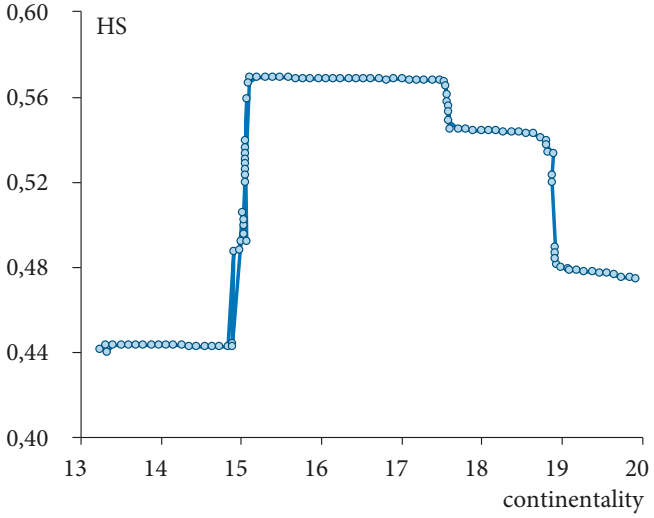


Fig. 2. Response curve of bioclimatic habitat suitability (HS) for continentality (°C).

Рис. 2. Крива відгуку біокліматичної придатності середовища існування (HS) для показника континентальності (°C).

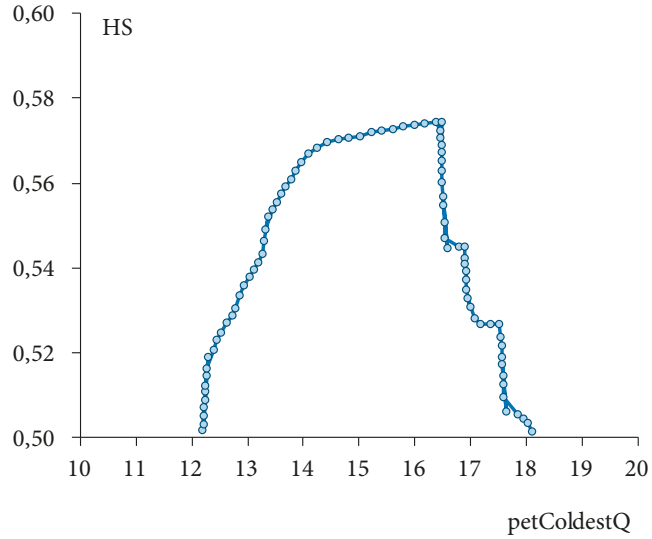


Fig. 3. Response curve of bioclimatic habitat suitability (HS) for annual potential evapotranspiration: annPET (mm/year).

Рис. 3. Крива відгуку біокліматичної придатності середовища існування (HS) для річних значень ПЕТ (потенційної евапотранспірації): annPET (мм/рік).

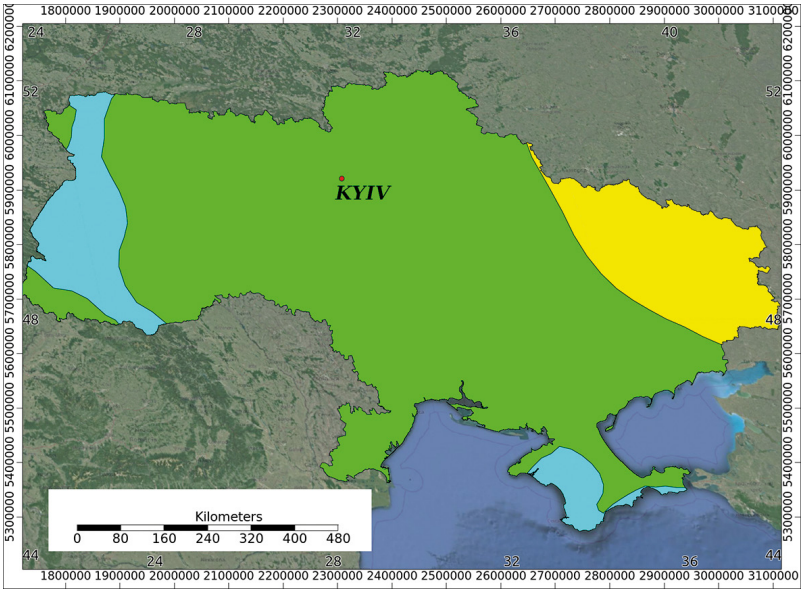


Fig. 4. The 'Most Limiting Factor' model for the distribution of the common hornbeam in Ukraine. Lime and azure filling indicate the geography of the suitability values within the bioclimatic envelope of *Carpinus betulus*. Yellow filling shows the area where conditions are outside the bioclimatic envelope of the species. Lime filling indicates areas with suitability limited by 'continentality,' while the azure filling denotes areas where 'PETColdestQuarter' and 'annPET' are the limiting factors.

Рис. 4. Модель «найбільш обмежуючого фактор» для зростання граба в України. Зеленувато- блакитне заповнення вказує на географію значень придатності в межах біокліматичної ніші *C. betulus*. Жовта заливка показує область, де умови зростання знаходяться поза біокліматичною нішою виду. Зеленувата заливка вказує на зони, придатність яких обмежена континентальністю, а блакитна заливка позначає області, де середньомісячні значення ПЕТ (потенційної евапотранспірації) найхолоднішого кварталу року та річні значення ПЕТ є обмежуючими факторами.

In terms of the 'Most Limiting Factor' output (Fig. 4), in Ukraine the most critical for the inclusion of a grid cell within the resulting environmental envelope was the 'continentality' predictor. For the majority of the country (around 78%), including northerly portions of the Crimea, Transcarpathia, and NW Volyn, this is a crucial climatic factor limiting the distribution of the common hornbeam. In a considerably smaller portion of the country (9.8%), namely in western Ukraine and southern parts of the Crimea, suitable conditions for the species are limited by either 'PETColdestQuarter' or 'annPET,' apparently depending on the topography of the area. Further to the east, conditions are predicted to be outside of the European bioclimatic envelope of *C. betulus* and can be considered unsuitable for the species; this area occupies around 12.2% of the country.

Discussion

Climate is considered the most important environmental factor influencing the distribution of species and vegetation at a regional and global scale. Our research at the regional scale (Ukraine) has concentrated on investigating the climatically suitable habitat, significant climatic factors, climatic thresholds (niche) and climatic response curves of the common hornbeam using a European-wide approach. The 'good' prediction of the resulting *Maxent* model (with an AUC of 0.726) may seem insufficient, although it could be that species (such as *C. betulus*) with larger areas of occupancy, i.e. larger range size, and those found over a greater range of environmental conditions, yield models with lower accuracy than those with smaller ranges [Franklin *et al.* 2009; Gray & Hamann 2013]. Besides this, climate variables are unlikely to be the only relevant predictors of habitat suitability [Austin & Van Niel 2011], as plant survival and reproduction also depend on light, nutrients, water, soil type, and CO_2, as well as disturbances and biotic interactions [Hageer *et al.* 2017]. Including these variables could have improved model performance, but here we explicitly focus on climate. Nevertheless, using only climate variables the modelling exercise gave accurate projections of common hornbeam distribution beyond the convex hull (used for calibrating the model; see above). For instance, the *Maxent* model simulated potential habitat for the species in the Crimea, where hornbeam is found in isolation [Didukh 1992; Cordova 2016].

In terms of variable importance, around 50% of the variation in the distribution of the study species is due to measures of evapotranspiration (Table 1). Evapotranspiration has long been regarded as an index to represent the available environmental energies and ecosystem productivity by bioclimatologists [Sun *et al.* 2016] and has been used to explain large regional variations in plant and animal species' richness and biodiversity. For example, the variability in species richness in vertebrate classes could be statistically explained by a monotonically increasing function of a single variable, potential evapotranspiration (PET) [Currie 1991]. In contrast, regional tree richness was more closely related to actual evapotranspiration, AET [Hawkins *et al.* 2003]. To relate these findings to our study, we assume that geographical variations in habitat suitability for a separate species (as *C. betulus*) and such variations in species' richness must have at least some common drivers as far as both are dependent on ecologically important aspects of climate linked to energy supply [O'Brien 2006], measured by PET [Fisher *et al.* 2011]. However, despite this importance, a quantitative synthesis analysing the contribution of over 400 distinct environmental variables to 2040 *Maxent* species' distribution models PET is poorly represented: summer PET is accounted for in 34 articles whereas winter PET only in three [Bradie & Leung 2017]. Nevertheless, winter PET in our case (represented by 'PETColdestQuarter') turned out to be a highly influential predictor of the European distribution of the common hornbeam.

PET is minimal for whole study region in winter and the main explanation for that is the insufficiency of solar energy during the winter. Yet there seems to be a crucial demand by the common hornbeam in the colder quarter of the year when trees are considered dormant. Dormancy is usually stated as a period in which visible growth is not obviously apparent [Saure 1985], but cell division and differentiation, tissue growth continue to occur at low temperatures in a slow and steady manner, and there is also active synthesis of RNA and protein during dormancy [Bagni *et al.* 1977]. The corresponding response curve (Fig. 1) may indicate the need for a sufficient energy supply to support these processes. Consequently, areas with a better such supply are of better habitat suitability, which reaches a peak at 0.57 by 'PETColdestQuarter' value of 16.43 mm/month. Further, however, the response curve shows a sudden drop. Most likely, this indicates that a surplus of ambient energy may have the potential to break dormancy and considerably reduce habitat suitability by causing premature growth onset and heavy damage during subsequent periods of frost, a possible scenario that may occur under climate change [Hänninen 1991].

Likewise the 'PETColdestQuarter' predictor, annual potential evapotranspiration ('annPET'), an index representing accumulated energy availability throughout the year [Thornthwaite 1948],

substantially contributes to the *Maxent* model, and is strongly correlated to potential evapotranspiration occurring in the warmest quarter (summer). Excessive values of 'annPET' apparently lead to a deficit of moisture in the soil, therefore after a value of 876.36 mm/year, there is a sharp decline of the corresponding response curve (Fig. 3). This indicates worsening habitat suitability for hornbeam in areas where 'annPET' values exceed this threshold, and this could be due to the summer water deficit, which is damaging for hornbeam populations [Sykes *et al.* 1996].

In contrast to 'PETColdestQuarter' and 'annPET,' 'continentality' causes the largest decrease in the model's gain, and therefore includes information not found in the first two. 'Continentality' as a distinguishable dimension of the climatic niche of the species, features the seasonal amplitude in ambient temperature, where large differences between low temperatures (frost) in the winter, and high temperatures (heat) in June, are suggested to be limiting factors of tree growth [Clark *et al.* 2014; Augustaitis *et al.* 2015]. According to Sykes *et al.* [1996], the common hornbeam can tolerate winter mean temperatures as low as –8°C. Using GIS to extract climate data from the CliMond dataset [Kriticos *et al.* 2012], we arrived with approximately the same figure (–8.65°C) for mean temperatures of the coldest quarter, but also found the first quartile to be close to zero (precisely –0.8°C), meaning only 25% of the point data are from places where the mean temperatures of the coldest quarter are below this level. Interestingly, values at the lower extremes of 'continentality' (in fact, increased 'oceanicity') are just as restraining as those of the upper (Fig. 2), indicating that there is perhaps some 'degree of continentality' essential for the well-being of the species. This notion has been much earlier expressed by D. D. Lavrinenko, a Soviet botanist, who wrote that '…each of the climatic forest zones (climatopes) should be described by the definite amount of warmth … received by the plants and by the definite degree of continentality of climate…' [Lavrinenko 1972].

Because the distribution of any species depends on variables related to climate, it is likely that the species could rapidly respond to climatic change [Luoto *et al.* 2006]. In this respect, the common hornbeam is no exception, as exemplified by the history of the species in Eastern Europe. Limiting factors and thresholds (particularly of PET indices) are bound to shift together with global climate change and bring in changes to the pattern of the common hornbeam distribution, especially at its edges.

Conclusions

Species distribution models are powerful tools to assess the potential geographical distributions of target species, relying on the correlation between species existence and corresponding environmental variables. Using the ENVIREM dataset [Title & Bemmels 2018], presence-only point data (supplemented by data from Ukraine), and by applying a maximum entropy (*Maxent*) model approach [Phillips *et al.* 2006], we consider to have reliably modeled the European-wide bioclimatic niche of the common hornbeam for predicting the response of species' geographical distribution to climate. Most contributing to the model were the mean monthly PET (potential evapotranspiration) of the coldest quarter, continentality, and annual PET. In terms of the 'Most Limiting Factor,' in Ukraine continentality is crucial throughout most of the country.

Acknowledgements

This research received no specific funding from any public, commercial, or non-profit agency. We greatly appreciate the time and careful consideration received from anonymous reviewers and the subject editor; their comments helped to improve the paper.

References

Akaike, H. 1974. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, **19** (6): 716–723. https://doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705

Augustaitis, A., A. Kliučius, V. Marozas, [*et al.*]. 2015. Sensitivity of European beech trees to unfavorable environmental factors on the edge and outside of their distribution range in north-eastern Europe. *iForest*, **9**: 259–269. https://doi.org/10.3832/ifor1398-008

Austin, M. P. 2002. Spatial prediction of species distribution: An interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecological Modelling*, **157** (2-3): 101–118. https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00205-3
Austin, M. P., K. P. Van Niel. 2011. Impact of landscape predictors on climate change modelling of species distributions: a case study with Eucalyptus fastigata in southern New South Wales, Australia. *Journal of Biogeography*, **38** (1): 9–19. https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2010.02415.x
Bagni, N., G. Marino, P. Torrigiani, [*et al.*]. 1977. Levels and aggregation of ribosomes during dormancy and dormancy break of peach flower buds. *Physiologica Plantarum*, **39** (2): 165–168. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1977.tb04029.x
Baldwin, R. A. 2009. Use of maximum entropy modeling in wildlife research. *Entropy*, **11** (4): 854–866. https://doi.org/10.3390/e11040854
Beck, J., L. Ballesteros-Mejia, P. Nagel, [*et al.*]. 2013. Online solutions and the 'Wallacean shortfall': What does GBIF contribute to our knowledge of species' ranges? *Diversity and Distributions*, **19** (8): 1043–1050. https://doi.org/10.1111/ddi.12083
Bradie, J., B. Leung. 2017. A quantitative synthesis of the importance of variables used in MaxEnt species distribution models. *Journal of Biogeography*, **44**: 1344–1361. https://doi.org/10.1111/jbi.12894
Carpinus betulus L. in GBIF Secretariat (2017). *GBIF Backbone Taxonomy. Checklist Dataset* https://doi.org/10.15468/39omei
Clark, J., Y. Wang, P. V. August. 2014. Assessing current and projected suitable habitats for tree-of-heaven along the Appalachian Trail. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences,* **369** (1643): 20130192. https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0192
Conrad, O., B. Bechtel, M. Bock et al. 2015. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geoscientific Model Development*, **8**: 1991-2007. https://doi.org/10.5194/gmd-8-1991-2015
Cordova, C. 2016. Crimea and the Black Sea: An Environmental History. London, New York, I. B. Tauris, 1–235.
Currie, D.J. 1991. Energy and large-scale patterns of animal-species and plant-species richness. *American Naturalist*, **137** (1): 27–49. https://doi.org/10.1086/285144
Desprez-Loustau, M.-L., B. Marcais, L.-M. Nageleisen, [*et al.*]. 2006. Interactive effects of drought and pathogens in forest trees. *Annals of Forest Science*, **63** (6): 597–612. https://doi.org/10.1051/forest:2006040
Didukh, J. P. 1992. Vegetation cover of the mountainous Crimea. K.: Naukova dumka, 1-250. [In Russian]
Elith, J., S. J. Phillips, T. Hastie, [*et al.*]. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, **11** (1): 43–57. https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x
Ellison, A. M., M. S. Bank, B. D. Clinton et al. 2005. Loss of foundation species: consequences for the structure and dynamics of forested ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **3** (9): 479–486. https://doi.org/10.1890/1540-9295(2005)003[0479:LOFSCF]2.0.CO;2
European Commission. 2013. *Interpretation Manual of European Union Habitats, version EUR 28*. Nature and Biodiversity Directorate-General for the Environment, Brussels. https://eunis.eea.europa.eu/references/2435
Fedorova, R. V. 1951. On the question of the distribution of hornbeam in the post-glacial period on the territory of the European part of the USSR. *Problems of physical geography*, **16**: 163–165. [In Russian]
Fielding, A. H., J. F. Bell. 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation*, **24** (1): 38–49. http://dx.doi.org/10.1017/S0376892997000088
Fisher, J.B., R. J. Whittaker, Y. Malhi. 2011. ET come home: potential evapotranspiration in geographical ecology. *Global Ecology and Biogeography*, **20** (1): 1–18. https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00578.x
Franklin, J., K. E. Wejnert, S. A. Hathaway et al. 2009. Effect of species rarity on the accuracy of species distribution models for reptiles and amphibians in southern California. *Diversity and Distributions*, **15** (1): 167-177. https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2008.00536.x
Gray, L.K., A. Hamann. 2013. Tracking suitable habitat for tree populations under climate change in western North America. *Climate Change*, **117** (1-2): 289–303. https://doi.org/10.1007/s10584-012-0548-8
Guisan, A., W. Thuiller. 2005. Predicting species distribution: Offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, **8** (9): 993–1009. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00792.x
Hageer, Y., M. Esperón-Rodríguez, J. B. Baumgartner et al. 2017. Climate, soil or both? Which variables are better predictors of the distributions of Australian shrub species? *PeerJ*, **5**: e3446. https://doi.org/10.7717/peerj.3446
Hänninen, H. 1991. Does climatic warming increase the risk of frost damage in northern trees? *Plant Cell and Environment*, **14** (5): 449-454. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1991.tb01514.x
Hawkins, B. A., R. Field, H. V. Cornell, et al. 2003. Energy, water, and broad-scale geographic patterns of species richness. *Ecology*, **84** (12): 3105–3117. https://doi.org/10.1890/03-8006
Hijmans, R. J., L. Guarino, M. Cruz, [*et al.*]. 2001. Computer tools for spatial analysis of plant genetic resources data: 1. DIVA-GIS. *Plant Genetic Resources Newsletter*, No. 127: 15–19.
Holdridge, L. R. 1947. Determination of world plant formations from simple climatic data. *Science*, **105** (2727): 367–368. https://doi.org/10.1126/science.105.2727.367
Huntley, B., P. M. Berry, W. Cramer, [*et al.*]. 1995. Modelling present and potential future ranges of some European higher plants using climate response surfaces. *Journal of Biogeography*, **22** (6): 967–1001. https://doi.org/10.2307/2845830

Hutchinson, A.H. 1918. Limiting factors in relation to specific ranges of tolerance of forest trees. *Botanical Gazette*, **66** (6): 465–493. https://doi.org/10.1086/332372
Jueterbock, A., L. Smolina, J. A. Coyer, et al. 2016. The fate of the Arctic seaweed Fucus distichus under climate change: an ecological niche modelling approach. *Ecology and Evolution*, **6** (6): 1712–1724. https://doi.org/10.1002/ece3.2001
Kira, T. 1976. *Terrestrial ecosystem—a general survey*. Kyoritsu Shuppan, Tokyo, 1–166.
Köppen, W. 1936. Das geographische System der Klimate. *Handbuch der Klimatologie (Ed. by W. Köppen and R. Geiger)*, **1** (part C), 1–44. Source: http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/pdf/Koppen_1936.pdf
Kriticos, D. J., B. L. Webber, A. Leriche, [*et al.*]. 2012. CliMond: global high resolution historical and future scenario climate surfaces for bioclimatic modelling. *Methods in Ecology and Evolution*, **3** (1): 53–64. https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2011.00134.x
Laurent, J.-M., A. Bar-Hen, L. François, [*et al.*]. 2004. Refining vegetation simulation models: from plant functional types to bioclimatic affinity groups of plants. *Journal of Vegetation Science*, **15** (6): 739–746. https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2004.tb02316.x
Lavrinenko, D. D. 1972. *Interaction of Wood Species in Different Types of Forests. Volume 70, issue 57224*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, and the National Science Foundation, 1–331. (Series: United States. National Technical Information Service).
Loehle, C., D. LeBlanc. 1996. Model-based assessments of climate change effects on forests: A critical review. *Ecological Modelling*, **90** (1): 1–31. https://doi.org/10.1016/0304-3800(96)83709-4
MacDicken, K., Ö. Jonsson, L. Piña, et al. 2015. «Global Forest Resources Assessment 2015» (PDF): fao.org. *Food and Agriculture Organization of the United Nations. Archived (PDF) from the original on 3 October 2015*. ISBN 9781370433124.
Mala, Yu. I. 2012. Hornbeam forests at the southern limit of distribution. *Black Sea Botanical Journal*, **8** (3): 265–283. [In Ukrainian]
Mauri, A., G. Strona, J. San-Miguel-Ayanz. 2017. EU-Forest, a high-resolution tree occurrence dataset for Europe. *Scientific Data*, **4**: 160123. https://doi.org/10.1038/sdata.2016.123
Nix, H. A. 1986. A biogeographic analysis of Australian Elapid Snakes. *In:* R. Longmore (ed.). *Atlas of Elapid Snakes of Australia*, Australian Government Publishing Service, Canberra, Sydney, Australia, 4–15. (Series: Australian Flora and Fauna; Number 7).
O'Brien, E. M. 2006. Biological relativity to water–energy dynamics. *Journal of Biogeography*, **33** (11): 1868–1888. https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01534.x
Phillips, S. J., R. P. Anderson, R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, **190** (3): 231–259. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026
Pokorný, P. 2005. Role of man in the development of Holocene vegetation in Central Bohemia. *Preslia*, **77** (1): 113–128.
Prentice, I. C., W. Cramer, S. P. Harrison, [*et al.*]. 1992. A global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate. *Journal of Biogeography*, **19** (2): 117–134. https://doi.org/10.2307/2845499
Raffa, K. F., B. H. Aukema, B. J. Bentz, [*et al.*]. 2008. Cross-scale drivers of natural disturbances prone to anthropogenic amplification: the dynamics of bark beetle eruptions. *Bioscience*, **58** (6): 501–517. https://doi.org/10.1641/B580607
Saure, M. C. 1985. Dormancy release in deciduous fruit trees. *Horticultural Reviews*, **7**: 239–299. https://doi.org/10.1002/9781118060735.ch6
Simonov, D. O., Y. P. Didukh. 2001. Climatic and chorological analysis of representatives of the tree flora of Ukraine. *Scientific notes NaUKMA*, **19** (2): 405–406. [In Ukrainian]
Sun, G., J.-C. Domec, D. M. Amatya. 2016. Forest evapotranspiration: measurements and modeling at multiple scales. In: *Amatya et al. (eds.), Forest Hydrology: Processes, Management and Assessment. CABI Publishers, U.K.,* 32-50.
Swets, J. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, **240** (4857): 1285–1293. https://doi.org/10.1126/science.3287615
Sykes, M. T., I. C. Prentice, R. W. Cramer. 1996. A bioclimatic model for the potential distributions of north European tree species under present and future climates. *Journal of Biogeography*, **23** (2): 203–233. http://www.jstor.org/stable/2845812.
Thornthwaite, C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, **38** (1): 57–94. https://doi.org/10.2307/210739
Title, P. O., J. B. Bemmels. 2018. ENVIREM: an expanded set of bioclimatic and topographic variables increases flexibility and improves performance of ecological niche modeling. *Ecography*, **41** (2): 291–307. https://doi.org/10.1101/075200
Tonkov, S., E. Marinova, M. Filipova-Marinova, et al. 2013. Holocene palaeoecology and human–environmental interactions at the coastal Black Sea Lake Durankulak, northeastern Bulgaria. *Quaternary International*, **328** (1): 277–286. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.12.004
Udra, I. K. 1988. *Dispersion of plants and issues of paleo- and biogeography*. Naukova Dumka, Kyiv, 1–200. [In Russian]

Udra, I. K. 2010. Reasons for the reduction of the range of common hornbeam (Carpinus betulus L.) and its migratory possibilities of restoration of lost territories. *Bulletin of the National Museum of Natural Sciences*, **8**: 111–128. [In Ukrainian]
Verbruggen, H., L. Tyberghein, G. S. Belton et al. 2013. Improving transferability of introduced species' distribution models: new tools to forecast the spread of a highly invasive seaweed. *PLoS One*, **8**: e68337. https://doi.org/10.1371%2Fjournal.pone.0068337
Vorobyov, E. O., V. M. Lyubchenko, V. A. Solomakha, et al. 2008. *Classification of hornbeam forests of Ukraine*. Phytosociotsentr, Kyiv, 1–252. [In Ukrainian] ISBN: 978-966-306-147-6
Waltari, E., R. P. Guralnick. 2009. Ecological niche modeling of montane mammals in the Great Basin, North America: examining past and present connectivity of species across basins and ranges. *Journal of Biogeography*, **36** (1): 148–161. https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2008.01959.x
Warren, D. L., R. E. Glor, M. Turelli. 2010. ENM Tools: a toolbox for comparative studies of environmental niche models. *Ecography*, **33** (3): 607–611. https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2009.06142.x
Woodward, F. I. 1987. Climate and Plant Distribution. Cambridge University Press, 1–174. ISBN 0521237661.
Woodward, F. I., L. Rochefort. 1991. Sensitivity analysis of vegetation diversity to environmental change. *Global Ecology and Biogeography Letters*, **1** (1): 7–23. https://doi.org/10.2307/2997540

GEO&BIO

2023 • vol. 24, pp 237–269
https://doi.org/10.53452/gb2416

Zoologist Volodymyr Karavaiev and the Karadag scientific station in Crimea (to the 160th anniversary of his birth)

Dmytro Mikhalenok

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

article info

key words

myrmecofauna, ants, manuscript, revolutionary destruction, station, travel, scientific research.

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: 19.01.2023. Revised: 15.06.2023. Accepted: 30.06.2023

cite as

Mikhalenok, D. 2023. Zoologist Volodymyr Karavaiev and the Karadag scientific stations in Crimea (to the 160th anniversary of his birth). *GEO&BIO*, **24**: 237–269. [In Ukrainian, with English summary]

abstract

Some unknown pages in the life of Volodymyr Karavaiev the world-famous Ukrainian zoologist, myrmecologist, traveler, as well as a large landowner of the former Kyiv Governorate are considered. Particular attention is paid to his stay and research activities in the Crimea, near the Karadag mountain massif, at the Karadag scientific station. The station was founded in 1914 at the own cost of Terentiy Viazemsky, doctor of medicine, a privatdozent of the Moscow University, in order to develop science free from state supervision. In 1917, at the beginning of the revolutionary destruction, Volodymyr Karavaiev was in Crimea, and the went to the Karadag trying to find a safe place for scientific activity. He was fascinated by the untouched nature of this place and, with the help of the geologist Oleksandr Sludskyi, who was in charge of the station, decided to build his own house and set up an entomological laboratory at the station. However, subsequent political events made it impossible to implement the scientist's ideas. The significance of the station in the scientist's life is considered in the context of the complicated fate of the manuscript on ants of the Ponerinae subfamily the first one that the scientist almost managed to process after returning from a trip to the Dutch Indies in 1913 (the events of 1917 prevented it). The history of the manuscript is filled with losses, experiences, and hardships, but scientific activity in Kyiv and at the station continued and covers the period from 1913 to 1923. The acquaintance with academician Volodymyr Vernadsky is also mentioned. Also considered the trip of the scientist in the 'academic' carriage to Kharkiv, and from there to Crimea in November 1919 (together with Volodymyr Vernadsky, who continued traveling to Rostov.) It is emphasised that thanks to the shelter at the station, the scientist was able to increase his scientific knowledge; the tropical collections of ants brought to the station and therefore preserved, gave him the opportunity to successfully continue studying the ants of the world. Another significant reason for developing scientific studies was the station's surroundings, which revealed the biodiversity of the myrmecofauna of Karadag. It is proposed to create a memorial library and a memorial collection of ants of the scientist as a national heritage.

© 2023 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.

Зоолог Володимир Караваєв та Карадазька наукова станція в Криму (до 160-річчя від дня народження)

Дмитро Михаленок

Резюме. Розглянуто невідомі сторінки життя українського всесвітньовідомого зоолога, мірмеколога, мандрівника, а також крупного поміщика Київської губернії Володимира Караваєва. Зокрема, це стосується його перебування та наукової діяльності в Криму, біля гірського масиву Карадаг, на Карадазькій науковій станції. Станцію засновано в 1914 р. на власні кошти доктором медицини, приват — доцентом московського університету Терентієм Вяземським, головним чином для того, щоб могла розвиватися вільна від державного нагляду наука, відкрита наука. У 1917 р., на початку революційних руйнувань, Володимир Караваєв, перебуваючи в Криму, в пошуках безпечного місця для наукової діяльності, прийшов на Карадаг. Він був причарований незайманою природою цього місця і, при сприянні завідуючого станцією геолога Олександра Слудського, вирішив побудувати на станції власний будинок та влаштувати ентомологічну лабораторію. Проте, подальші політичні події унеможливили реалізувати задуми вченого. Станція на деякий час стала місцем його наукової діяльності. Значення станції в житті вченого розглянуто в контексті складної долі рукопису по мурашкам підродини Ponerinae — першого, який вчений майже зміг науково обробити після повернення в 1913 р. з подорожі до Голландської Індії (завадили події 1917 р.). Історія рукопису наповнена втратами, переживаннями, бідуванням, а попри це — науковою діяльністю в Києві та на станції, охоплює період з 1913 р. по 1923 р. Висвітлено знайомство з академіком Володимиром Вернадським. Розглянуто поїздку вченого в «академічному» вагоні до Харкова, а звідти в Крим в листопаді 1919 р. (разом із Володимиром Вернадським, який поїхав далі в Ростов). Підкреслено, що завдяки притулку на станції, вчений зміг примножити наукове знання — вивезені на станцію, а тому і збережені, тропічні збори мурашок надали йому можливість успішно продовжувати вивчати мурашок усього світу. Важливе значення мали наукові дослідження околиць станції, які виявили біорізноманіття мірмекофауни Карадагу. Запропоновано про доцільність створення меморіальної бібліотеки та меморіальної колекції мурашок вченого в якості національного надбання.

Ключові слова: мірмекофауна, мурашки, рукопис, революційні руйнування, станція, подорож, наукові дослідження.

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

Лютнева революція 1917 р. запустила процеси розпаду державної машини Російської імперії. В умовах захоплення селянами поміщицьких земель та знищення маєтків, вчений і крупний поміщик Київської губернії, В. О. Караваєв намагався різними шляхами зберегти свій будинок, колекції мурашок, книжки наукової бібліотеки, обладнання ентомологічної лабораторії, тощо. Крим, на якийсь час, став привабливим місцем для міграції населення. Восени 1917 р. вчений опинився на Карадазькій науковій станції імені Т. І. Вяземського (Далі:станція) і вирішив облаштувати там своє життя. На станцію вчений приїжджав на короткий строк кілька разів, а з листопада 1919 р. і до другої половини травня 1921 р. жив та науково працював там, вивчаючи мірмекофауну Карадагу та інших місцевостей Криму. На станції вчений зберіг основу своєї подальшої наукової діяльності — чисельні збори мурашок, привезені з подорожі по Голландській Індії. До наукової обробки тропічних зборів приступити не міг через брак необхідного обладнання та відповідної літератури. З перебуванням на станції пов'язані події, які відбувалися далеко за її межами, але вони допомагають нам зрозуміти цінність праці всього життя вченого — вивчення мурашок всього світу.

Критичний підхід до розуміння історії науки дозволяє виявити актуальний зв'язок подій минулого з подіями сучасними. На це наголошував В. І. Вернадський: «Каждое поколение научных исследователей ищет и находит в истории науки отражение научных течений своего времени. Двигаясь вперед, наука не только создает новое, но и неизбежно переоценивает старое, пережитое» [Vernadsky 1912: 7].

9 березня 2024 р. виповнюється 160 років від дня народження Володимира Опанасовича Караваєва (1864–1939). Життю та діяльності вченого присвячені публікації М. М. Корман, зокрема її монографія [Korman 2008], публікації інших дослідників. Однак, оцінка наукової спадщини вченого ще попереду, яку, на наш погляд, слід розглядати з позицій його наукової діяльності по вивченню мурашок всього світу. Підкреслимо, що наукове надбання вченого, на думку відомого вітчизняного мірмеколога О. Г. Радченко, виходить далеко за межі вивчення мурашок України [Radchenko 2016: 12]. Будемо пам'ятати Володимира Опанасовича, як дослідника, що збагатив наукове знання: «Він описав 4 нових роди, 4 підроди, 98 нових видів, 30 нових підвидів, 96 варіететів, 36 каст та додатково описав 107 видів (не включаючи сюди ще не опубліковані роботи)» [Paramonov 1941: 3].

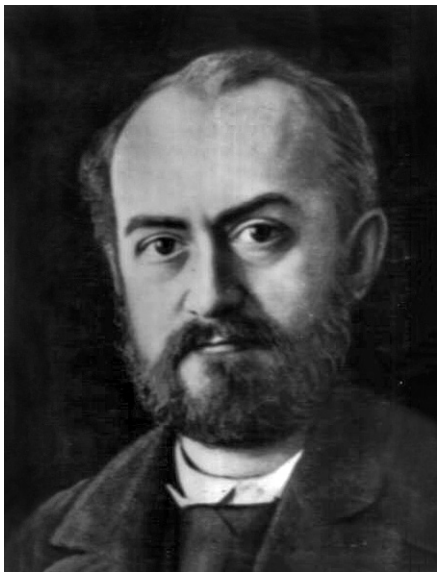


Рис. 1. Володимир Караваєв в молоді роки, початок 1900-х рр., за: [Pohrebniak *et al.* 2010: 39].

Fig. 1. Volodymyr Karavaiev in his youth, early 1900s, after: [Pohrebniak *et al.* 2010: 39].

Методика досліджень

Автор більше двадцяти років працював науковцем в Карадазькому природному заповіднику Національної академії наук України. За власної ініціативи вивчав історію станції. Спочатку ознайомився з архівом Карадазької біологічної станції, що зберігався у заповіднику, а подальший пошук необхідних матеріалів привів у архіви Москви. При дослідженні першоджерел, були виявлені матеріали щодо перебування зоолога В. О. Караваєва на станції. Багаторічні дослідження архівних джерел і відповідної літератури в Національній бібліотеці України імені В. І. Вернадського, в Россійській державній бібліотеці та в інших бібліотеках, дозволили узагальнити матеріал та представити його у вигляді статті.

Застосована методика джерелознавчого аналізу з долученням загальнонаукових та історичних методів дослідження: аналітичного, синтетичного, ретроспективного, історико-порівняльного [Medushevskaya 1976; Vinogradov & Nagorova 1960]. Тексти архівних матеріалів передаються в сучасній орфографії із збереженням пунктуації.

Написання прізвища вченого передаємо так, як він його представляв у більшості своїх наукових публікацій — Karawajew, у тому числі й при цитуванні публікацій, що надруковані кирилицею, а ініціали (W. O. або W. A.) наведено згідно оригіналу. У назві й резюме цієї статті написання подано в англійській транслітерації (V. Karavaiev).

Загалом використано матеріали із 5 архівів, які мають такі позначення, вжиті у цій статті: архів Карадазької біологічної станції (Далі: АКБС) — Оп. 1. Спр. 2., Оп. 1 (по Оп. 2.). Ст. 2.; архів Московського товариства діячів природи (Далі: АМТДП) — Спр. 1056., Спр. 1097.; архів Російської академії наук (Далі: АРАН) — Ф. 48. Оп. 2. Спр. 98., Ф. 311. Оп. 2. Спр. 227.; Центральний історичний архів Москви (Далі: ЦІАМ) — Ф. 224. Оп. 1. Спр. 85., Ф. 224. Оп. 1. Спр. 100.; приватний архів нащадків О. Ф. Слудського (Далі: ПАНС) — архів не систематизовано.

Також використані матеріали фотоархіву відділу музеології Національного науково-природничого музею Національної академії наук України (Далі: ННПМ), який включає, зокрема, фотоматеріали В. О. Караваєва: фотопластинки, стереопари, зроблені під час досліджень в різних кутках світу, електронні копії яких створено колишнім співробітником ННПМ В. Ю. Ремінним (далі: фотоархів В. Ю. Ремінного).

1. Історія рукопису про мурашок

У грудні 1923 р. в Києві В. О. Караваєв підготував до друку першу частину рукопису про підродину мурашок Ponerinae, привезених разом з багатьма іншими зборами різних підродин у 1913 р. з тропічних островів Голландської Індії. На кількох вступних сторінках до статті [Karawajew 1925*b*: 69–71] вчений, без зайвих емоційних відступів, стисло розповів про те, що появі статті передувала одна сумна та довга історія. Розпочалася вона взимку 1912–1913 рр. під час подорожі в Голландську Індію. Звісно, початок сумним не був. Подорож пройшла успішно — в 1913 р. вчений привіз з собою величезну кількість зразків зібраної мірмекофауни і приступив в своєму маєтку в селі Мурзинцях Звенигородського повіту Київської губернії до наукової обробки зборів. У 1917 р., після Лютневої революції в Петрограді, В. О. Караваєв небезпідставно побоювався, що його наукова бібліотека, мірмекологічні колекції, необроблені збори тропічної мірмекофауни, ентомологічна лабораторія — все це може постраждати.

Вчений почав шукати можливості, щоб зберегти свою наукову скарбницю. Випадково він опинився на Карадазькій науковій станції в Криму і вирішив на час революційних руйнувань там зупинитися. Повернувшись в Київ, він відіслав на станцію переважну більшість зборів мірмекофауни з Голландської Індії, деякі прилади. До від'їзду в Крим, запакував в дерев'яні ящики свою бібліотеку, устаткування ентомологічної лабораторії, сухі колекції мурашок та деякі тропічні збори і все це розмістив у знайомих людей, яким довіряв, у двох школах містечка Звенигородка. Майже готовий рукопис помістив для зберігання в одному з банків [ibid].

Підемо услід за розповіддю вченого та побуваємо в Голландській Індії, селі Мурзинцях, на станції в Криму, а закінчення розповіді вченого відбудеться в Києві, у грудні 1923 р.

1.1. Подорож до Голландської Індії

Подорожі, де б вони не відбувалися — на рідній Київщині, у Середній Азії, на Кавказі, у Криму, в Північній Африці, в далеких тропіках, чи деінде — завжди вабили вченого через закладене в його душі прагнення до мандрування [Karawajew 1913: 395]. Перша далека подорож на острів Яву та в Сингапур відбулася взимку 1898 р. [Karawajew 1900]. Результатами були чисельні зоологічні колекції різних тварин. Більшу частину колекцій вчений передав в зоологічний музей київського університету та в зоологічний музей київського політехнічного інституту. Частину колекцій, переважно комах, залишив у своїй власності [ibid.: 1]. З весни 1903 р. вирішив присвятити себе всебічному вивченню мурашок, зокрема їх систематизації [Karawajew 1903*a*: 94]. З мірмекологічною ціллю зробив кілька подорожей: в Середню Азію [Karawajew 1909], Єгипет та Судан [Karawajew 1911], Туніс, Алжир та Італію [Karawajew 1912].

Заради вивчення мурашок мріяв знову, в другий раз побувати в тропіках: «Уже давно я лелеял мечту снова отправиться в тропики, чтобы теперь как мирмеколог , заняться изучением и собиранием муравьев в этих обетованых странах» [Karawajew 1913: 395]. Додамо, що і перша подорож в тропіки в молодості, зимою 1898 р. теж була омріяна (на рис 1. В. О. Караваєв в молоді роки): «Прошлой зимой мне удалось осуществить мечту моей юности — побывать в тропиках» [Karawajew 1901*a*: VII]. Вчений підкреслив, що мірмекологи рідко їдуть в тропіки для дослідження мурашок. В більшості випадків вони користуються матеріалом, попутно зібраним іншими натуралістами, для яких мурашки не є об'єктами вивчення. Стосовно вивчення біології мурашок, то на це звертають дуже мало уваги. Ще рідше збирають та висилають спеціалістам гнізда мурашок. Тому, В. О. Караваєв зажадав самостійно подолати труднощі у вивченні тропічної мірмекофауни [Karawajew 1913: 395].

У обітовані краї, до Голландської Індії вчений вирушив 20 жовтня 1912 р. на пароплаві Добровільного флоту «Владимир». Дістався міста Коломбо (Цейлон), далі подорожував на пароплаві однієї з голландських компаній до Сингапура, а звідти до острова Ява, де зупинився (з 28.11.1912 р. по 18.01.1913 р.) у будинку для науковців при ботанічному саду міста Бейтензорг. На невеличких пароплавах здійснив кілька подорожей на сусідні острови для вивчення

мірмекофауни. На маленькому острові Буру вченого привабила своєю красою бухта Тіфу, яка промайнула в його уяві як дивний сон. Він навіть хотів залишитися там на деякий час, але план подорожі був вже заздалегідь встановлено. Проте, він рекомендував Тіфу іншим: «Всякому натуралисту, любящему уединение и нетронутую природу, я настойчиво рекомендую Тифу» [Karawajew 1913: 450]. Важливо і те, що тубільці були християнами (протестантами), тому пересуватися по острову, навіть одному, було безпечно.

Відокремленість та незайману природу В. О. Караваєв побачив у 1917 р. і на станції — побачене, як і в Тіфу, причарувало його. Поки що вчений продовжує свою подорож і сумує за тим, що поблизу Бейтензорга, в Мегамендунському міжгір'ї майже зникли розкішні ліси від яких він був в захваті 14 років тому, під час свого першого перебування на острові Ява. Замість пишних лісів гірські схили були покриті гидкими чайними плантаціями, а в місті, зауважив вчений, з'явилася маса смердюків — автомобілів та мотоциклеток, яких в минуло ще не було [Karawajew 1913: 424, 441].

По залізниці, недалеко від Бейтензорга, знаходився ліс Депок, знайомий ще з минулої подорожі. Два рази відвідав цей ліс, але, на жаль, були рясні дощі і страшна спека. Піт котився градом, часом просто на зібраних мурашок та термітів. Вчений наступним чином характеризував специфіку наукової роботи в тропіках (на прикладі Депока): «Жителю умеренного пояса невозможно и представить себе, при каких условиях приходится коллектировать энтомологу в тропиках. Я изрядно испачкался, настолько, что когда я явился на вокзал, то начальник станции заметил мне, что я «по видимому натуралист» [Karawajew 1913: 427–428].

Далі вчений пересувався на пароплаві на острів Амбона, де перебував з 27.01. до 12.02. 1913 року. Місцеві ліси теж були поскубані «культурою», за те в мірмекологічному відношенні являли значний інтерес. Головною ціллю подорожі був незайманий архіпелаг Ару, який являв собою ідеал для натураліста [Karawajew 1913: 397]. В поселенні Добо, на острові Ваммар (рис. 2) цього архіпелагу, перебував найдовше — п'ять тижнів (з 15.02 по 24. 03 1913 р.). Звідси здійснював, на невеличкому пароплаві, подорожі у внутрішні, незаселені частини архіпелагу. Поселення Добо, за тих часів, жило, переважно, перловим промислом та райськими птахами (*Paradisea apoda*). Шкурки птахів скуповували у тубільців переважно китайці та перепродували далі — до Європи. Вчений передбачав, що райським птахам, які являють собою вищу красу у пташиному світі, рано чи пізно загрожує повне винищення. Загалом, був вражений кількістю та різноманіттям птахів на острові Ваммар. Із ссавців він зустрів на острові кенгуру, а у берегів зрідка попадалися алігатори. Надзвичайно неприємним населенням аруанських

Рис. 2. Куточки природи на острові Ваммар. Фотографії В. Караваєва, 1913 р. Фотоархів В. Ремінного.
Fig. 2. Slices of nature on Wammar Island. Photograph by V. Karavaiev, 1913. Photo arhive of V. Reminny.

лісів були москіти, які обліплювали вченого, коли він зупинявся навіть на кілька секунд. Щоб запобігти зараженню малярією, доводилося два рази на тиждень приймати хінін.

На відміну від острова Ява, на острові Ваммар не зустрічалися картонні гнізда мурашок на гілках та листях, а були лише на стовбурах дерев. Крім мурашок та їхніх гнізд, вчений мимохідь збирав різних комах, а на островах архіпелагу в невеликий кількості зі своєї рушниці стріляв та препарував пташок — важко було втриматися від спокуси тропічного полювання. Планував також вивчати і термітів, однак скоро зрозумів, що при величезному різноманітті фауни мурашок, на термітів не вистачить часу, тому облишив їх збирати. Дійсно, дуже багато було зібрано мурашок — біля 500 окремих зборів і для детального вивчення, як і передбачав вчений, знадобилося багато часу.

Було зібрано також і багато мурашиних гнізд, більшість з яких виявилися невідомими для науки. Вдалося зробити і деякі цікаві біологічні дослідження мурашок. Вчений зазначив, що мурашок і незначну кількість термітів він збирав виключно в спирт, в скляні трубочки з корками, при цьому часто окремі збори розділяв ватними томпонами (в 1917–1918 рр. ці заспиртовані збори він буде поштою висилати з Києва на станцію). Гнізда мурашок пакував у тонкостінні дерев'яні коробки, які привіз з собою [Karawajew 1913: 403–404]. Така велика кількість мірмекологічного матеріалу являла собою велику цінність для подальших наукових досліджень. Це був справжній скарб, здобутий в нелегких експедиційних дослідженнях в тропіках зусиллями однієї людини.

На острові Ваммар В. О. Караваєв жив власним господарством, бо інакше і не можна було. Він привіз з собою необхідний посуд, похідну гасову кухню, для освітлення кімнати — гасову лампу, для вмивання — відро з краном та емалеву миску [Karawajew 1913: 405]. На протязі всієї подорожі багато фотографував. Знімки загального плану робив виключно стереоскопічним фотоапаратом, а мурашок та їх гнізда фотографував спеціальним фотоапаратом із об'єктивами-тессарами (тобто для макрозйомки) [Karawajew 1913: 403]. Дуже шкодував, що не міг представити читачам книги про свою подорож знімки у вигляді стереоскопічних картин: «Тот, кто однажды стал делать снимки стереоскопической камерой, не может смотреть на обыкновенные снимки иначе, как с полным равнодушием. И в самом деле, что такое представляет собой густой лес, снятый обыкновенной камерой? Сплошную стену, в которой решительно ничего не разберешь! И эта самая стена превращается на стереоскопическом снимке в картину, полную жизни!» [ibid.].

Настав час повертатися на острів Яву: В. О. Караваєв 11 квітня прибув на пароплаві з архіпелагу Ару до порта Пріок і в той же день переїхав в майже рідний для нього Бейтензорг. Планував провести ще наукові дослідження на Яві, а потім попрацювати на острові Суматра і вже осінню, після послаблення південно — західного мусону, повернутися через Індійський океан до дому. Однак з листів, які чекали на нього в готелі, стало відомо про деякі обставини, які потребували повернення до дому раніше наміченого строку. Вчений виїхав до Сингапуру, звідки, у зв'язку з затримкою пароплава на Одесу через Індійський океан, вирішив продовжити подорож по Тихому океану на Владивосток, пароплавом «Кишинев».

Подорож була не вельми приємною через величезну кількість тарганів, навіть у каюті першого класу, в якій він подорожував. На початку травня пароплав був вже в північних морях [Karawajew 1913: 514]. Владивосток справив тяжке враження: «На каждом шагу наблюдается необузданный разгул: всюду масса пьяных, даже извозчика трудно найти непьяного» [Karawajew 1913: 517]. Спочатку на таможні не було ніяких проблем із ручним багажем, а по відношенню до ящиків, управитель таможні не зробив ніяких послаблень і їх довелося відправляти до Києва транзитом. Надзвичайно складні формальності зайняли біля п'яти днів: « … тут уже все пошло по-русски», — зауважив вчений [Karawajew 1913: 516]. Загалом він дає скупі описи як позитивних, так і негативних сторін подорожі, в переважній більшості констатує факти, не заглиблюючись в їх пояснення.

З Владивостоку виїхав експресом, де вагони виявилися старими, пошарпаними, зі щілинами у вікнах. Багато їхало іноземців, особливо англійців, проте обслуга не в змозі була порозумітися з ними і плутала всі мови [Karawajew 1913: 517). В Іркутську пересів на другий експрес, де вагони були ще гірші, а на погано прокладених коліях вагони сильно бовталися і здавалося, що поїзд ось-ось зійде з рейок [Karawajew 1913: 516]. Приблизно в середині травня був вже в Києві. Закінчується опис подорожі так: «Через 8 суток и 17 часов, считая от Владивостока, я был в Москве, а оттуда до Киева около полутора суток» [Karawajew 1913: 517].

Проте, далі йде важливий додаток (своєрідне продовження опису подорожі, що додає читачам настрою після пригод на залізниці), в якому вчений представив необхідний для спілкування з місцевим населенням словник у кількості біля 300 слів. Справа в тому, що всім, хто планував побувати у Голландській Індії, потрібно було володіти малайською мовою, при тому дуже зіпсованою мовою, яка потрібна для спілкування не тільки з малайцями, а й з іншими народностями, для яких справжня малайська мова є чужою. Звісно, що за таких умов ні один посібник по вивченню малайської мови не міг навчити володіти зіпсованою, специфічною малайською мовою. В. О. Караваєв, турбуючись про майбутніх мандрівників, був першим, хто запропонував вихід з цієї ситуації: «Я делаю попытку облегчить ознакомление заинтересованных лиц с испорченным малайским языком и с этой целью рекомендую в конце очерка своего путешествия, в виде прибавления, небольшой список малайских слов, проверенных и частью почерпнутых из разговорного языка. Он очень неполон…Для обстоятельной работы у меня не было досуга, да и мысль о составлении списка явилась у меня слишком поздно» [Karawajew 1913: 406–407].

Після подорожі, в своєму маєтку, в селі Мурзинці, вчений приступив до обробки тропічного скарбу.

1.2. Село Мурзинці

В приватній бібліотеці вченого, що зберігається в Інституті зоології імені Івана Шмальгаузена НАН України, на сторінках деяких книжок зберігся книжковий знак власника бібліотеки: чотирикутний штемпель, на якому зазначено, що зимою вчений знаходиться в Києві за адресою по вулиці Пирогівській 1, а літом в селі Мурзинці (через місто Звенигородку) Київської губернії. В минулому деякі свої статті вчений підписував, вказуючи дату і місце написання — село Мурзинці. Любиме село, де була садиба з бібліотекою, ентомологічною лабораторією, чисельними зоологічними колекціями, де були затишні, спокійні умови для наукової роботи, для життя. Дальні та ближні околиці села слугували науковим полігоном для вивчення мурашок. Це був науковий осередок, створений на власні кошти. В Мурзинцях вчений досліджував мурашок, зібраних в місцевостях від околиць села до далеких тропіків.

Саме з Мурзинцями пов'язана блискуча робота по дослідженню в 1903–1904 рр. кількох акаридів (кліщів) роду *Antennophorus*, що являли собою паразитів мурашок на різних видах роду *Lasius*. Антеннофоруси були знайдені, як зазначив вчений, у «моїй місцевості» [Karawajew 1904: 241]. Досконалі, кропіткі досліди щодо характеристики біологічних відносин антеннофорусів до мурашок, відображені в трьох працях [Karawajew 1904, 1905, 1906]. На теренах Російської імперії це були перші дослідженя, перші публікації по мірмекофілії. Краща ситуація була у західній Європі, де вивченням антеннофорусів займалися, зокрема, такі відомі вчені як Еріх Васманн та Антоніо Берлезе. Досліди були проведені в Мурзинцях з урахуванням дослідів Е. Васманна по так званим інтернаціональним відношенням антеннофорусів. Результати показали, що «из муравьев, пребывание на которых в природе не свойственно антеннофорусам, последние могут жить, хотя бы и только короткое время, только на других видах *Lasius*, на других же муравьях они вовсе не могут жить» [Karawajew 1906: 227]. Вчений мав намір піти далі та з'ясувати тривалість існування антеннофорусів на тих видах роду *Lasius*, які в природі їм не властиві. На жаль, досліди він не міг продовжити, бо недозволили часті роз'їзди [Karawajew 1906: 228]. В кінці статті ще раз наголошує, що в природі певні види антеннофорусів пов'язані тільки до одного, або кількох видів роду *Lasius* [ibid.].

Додамо, що досліди були доповнені зустрічами з Е. Васманном та А. Берлезе, на яких обговорювалися спірні питання по антеннофорусам. В результаті з'ясувалось, що В. О. Караваєв виявив новий вид антеннофоруса — *Antennophorus grandis*. Інших мірмекофілів вчений продовжував вивчати і далі, разом з мурашками всього світу [Karawajew 1926: 24]. Наведемо приклад щодо мурашки *Lasius fuliginosus* (була використана у вищевказаних дослідах), у гнізді якої живе особливий грибок — *Cladosporium mermecofilum*. Питання симбіозу між грибком та мурашкою, на думку вченого, лишалося відкритим [Karawajew 1936: 218].

В житті вченого домінувала наука, а дохід від поміщицького господарства забезпечував можливість подорожувати по світу з науково-пізнавальними цілями та проводити самостійні дослідження поза межами державних наукових установ. Повернувшись в травні 1913 р. з подорожі по Голландській Індії, він приступив до наукового опрацювання матеріалу по тропічній фауні мурашок. Вже в 1913 р. вийшла з друку вищезгадувана цікава науково — популярна публікація за результатами подорожі [Karawajew 1913], а в 1914 р. побачила світ наукова стаття про новий спосіб виготовлення гнізда мурашкою-ткалею *Polyrhachis armata* [Karawajew 1914]. У 1916 р. вчений опублікував науково-популярну статтю [Karawajew 1916], де розповів про маловідомі факти з життя тропічних мурашок, також торкнувся проблеми опрацювання зборів. Зокрема, звернув увагу на те, що опрацьована тільки половина підродини Ponerinae, що пов'язано з великою кількістю (майже половина!) нових форм мурашок. Для мірмеколога — систематика це справжній скарб, для розкриття якого потрібна довга кропітка робота. Звертає увагу на гнізда мурашок, які, за поодинокими випадками, знаходилися виключно на деревах. Мурашки виготовляли гнізда з так званого картону —погризеного рослинного матеріалу, склеєного слиною. Внутрішня частина гнізда складається з різної форми лабіринтоподібних ходів. Значна частина гнізд мурашок виявилася новою для науки! Вчений наводив приклад особливих, незвичних гнізд мурашок підродини *Polyrhachis sp*., виявлених на острові Ява в Бейтензорському ботанічному саду. Гніздо зроблено з повсті, витканої з пташиного пір'я, волосся, рослинних волокон і являє собою вертикальну пластинку, що краями прикріплена до кори дерева. Вниз, з гнізда до землі веде повстяна трубочка — це єдиний отвір гнізда. Дуже важко розпізнавати такі гнізда від кори дерева і виходить своєрідна мімікрія такої мурашкової будови [Karawajew 1916: 876].

У 1917 р. В.О. Караваєв зрозумів, що його мірмекологічні дослідження можуть бути знищені хвилями революційних руйнувань і тому почав шукати нове місце для подальшої наукової роботи.

1.3. Карадазька наукова станція

1.3.1. Короткі відомості про станцію

Що являла собою станція? Це був особливий науковий осередок, в якому засновником станції, доктором медицини, приватдоцентом московського університету Т. І. Вяземським було започатковано розвиток відкритої, вільною від шкідливого, часом руйнівного впливу на науку зі сторони держави. До такого невтішного висновку на початку XX ст. прийшов не тільки Т. І. Вяземський, а й інші вчені, занепокоєні станом розвитку науки. В цьому плані показовий вислів першого президента української Академії наук (Далі: УАН) академіка В. І. Вернадського: «Когдато С. Трубецкой говорил про наши заседания в Московском унив[ерситете] перед 1904 годом: мы говорим и обсуждаем в завязанном мешке. В большем виде все это правильно для теперешнего времени», — занотував він в щоденнику 19 квітня 1919 р. [цит. за: Onischenko 2011*a*: 134]. Позбавитися цього мішка вирішив Т. І. Вяземський, для цього на власні кошти, а також з залученням фінансів професора московського університету Л. З. Мороховця, в 1907 р. він почав будувати на березі Чорного моря, в своєму маєтку станцію. Він не тільки зрозумів необхідність в існуванні незалежних від держави наукових закладів, але й приступив до створення такого закладу (нагадаємо, що тільки після того, як у 1911 р. міністр

народної освіти Кассо позбавив московський університет автономії, в науковому середовищі гостро постало питання про створення недержавних наукових та учбових закладів. І такі заклади почали створюватися).

Станція була приватна, її наукову діяльність мала забезпечувати власна бібліотека Т. І. Вяземського по різним науковим напрямкам в кількості біля 30 тисяч книжок та наукові лабораторії. Була також надія, що прибуток від діяльності санаторію та невеликого маєтку, буде залучено на наукову та господарську діяльність. Головним завданням станції, на думку вченого, було сприяння науковим заняттям по всім галузям природознавства та прилеглим до природознавства наукам, а також їх практичного застосування. Для цього станція надавала свої приміщення, прилади, бібліотеку приїжджим науковцям та сприяла в отриманні відповідного матеріалу для досліджень. Станція відкривала свої двері також і для іноземних науковців. Важливо відмітити, що станція була науковою установою, відкритою для всіх науковців, незалежно від політичних переконань, расової та релігійної приналежності. Геолог О. Ф. Слудський, який добре знав Т. І. Вяземского, а після його смерті завідував станцією з 1914 р. до 1927 р., дуже влучно підмітив характерну рису його особистості: «[…] он действительно был другом людей, другом человечества — в этом была главная сущность и неотразимое обаяние его личности» [Slydsky 1917: 7]. Важливо відмітити, що Т. І. Вяземський вважав, що контакт між науковцями, що працюють в різних галузях науки, буде стимулом виникнення нових наукових ідей.

Сучасники Т. І. Вяземського, серед яких були і видатні вчені, не вірили в доцільність створення станції, заснованої на ліберальних засадах. У 1913 р., коли будівництво станції підходило до свого завершення, Л. З. Мороховець у зв'язку з хворобою та по деяким іншим причинам, попросив Т. І. Вяземського повернути йому гроші, які він витратив на будівництво станції. Сума була досить значною — 15 тисяч карбованців, яких в Т. І. Вяземського не було. Повернення грошей стало справою честі, а сама ситуація викликала суттєві проблеми із здоров'ям, яке і до того було не блискучим.

Вирішити складне питання допоміг видатний російський вчений, професор московського університету, фізик М. О. Умов, який порадив пожертвувати станцію Товариству сприяння успіхам дослідних наук та їх практичних застосувань імені Х. С. Леденцова (Далі: Товариство) з умовою повернення Товариством Л. З. Мороховцю грошей. Зазначимо, що Товариство, крім М. О. Умова, об'єднувало інших видатних вчених: математика С. А. Федорова, геолога В. І. Вернадського, геолога О. П. Павлова, фізико-хіміка І. О. Каблукова, економіста М. Ф. Чарновського та ін. Весною 1914 р. Т. І. Вяземський передав Товариству свій маєток разом з санаторієм, землею, станцією, бібліотекою. Це був по суті дарунок, оскільки ціна, отриманого Товариством майна, приблизно на порядок, перевищувала суму боргу, що слід було віддати Л. З. Мороховцю.

Слід зазначити, що сама станція була передана в незавершеному стані — був завезений матеріал для будівництва окремого приміщення для бібліотеки, а на самій станції лишалися дрібні будівельні роботи. Т. І. Вяземський помер в Москві, 23 вересня 1914 р., його справу по добудові станції та організації на ній наукової роботи продовжило Товариство, та назначений ним завідуючий станції — геолог О. Ф. Слудський (учень геолога, академіка О. П. Павлова), а також помічник завідуючого зоолог В. М. Вучетич.

Характер роботи станції був сезонним: з травня по жовтень включно, після чого О. Ф. Слудський їхав до Москви, де працював асистентом в геологічному кабінеті московського університету. На станції лишався В. М. Вучетич та кілька людей з обслуговуючого персоналу. Докладніше про історію станції викладено в наших роботах [Mikhalenok 1997, 1999, 2013; Mikhalenok & Lapchenko 2008 *et al.*]. У 1917 р. О. Ф. Слудський приїхав на станцію в квітні разом з дружиною Оленою Миколаївною та семирічним сином Євгеном. Він і гадки не мав, що у зв'язку з бурхливими політичними подіями затримається на Карадазі на п'ять років — до липня 1922 р.

1.3.2. 1917 рік

З матеріалів АКБС дізнаємось, що в цілому 1917 р. був малосприятливим для наукової роботи станції у зв'язку з загальною економічною розрухою, знеціненням грошей, утрудненістю зношень з Товариством і важким його станом після листопадового перевороту в Москві, зростаючою анархією в країні, штучно роздмухуваною національною ворожнечею в Криму — в таких загальних умовах опинилася станція на кінець року, відмітив О. Ф. Слудський у річному звіті по станції. Приїжджі науковці майже не відвідували станцію у зв'язку з хитким політичним становищем та утрудненням поїздок.

Коли на початку жовтня В. О. Караваєв опинився на станції, то його поява могла викликати спочатку щире здивування. Згодом вияснилося, що він прийшов по допомогу. Деякі короткі відомості про перебування В. О. Караваєва на станції викладені в нашій роботі [Mikhalenok 2013: 408]. Ситуацію прояснює лист О. Ф. Слудського до академіка О. П. Павлова від 2.11.1917 р., що зберігається в АРАН. О. П. Павлов на той час був головою Попечительної комісії станції, що підпорядковувалася Товариству і О. Ф. Слудському важливо було знати і його думку по цьому питанню (хоча і вірив, що ця думка буде сприятливою). Зауважимо, що О. Ф. Слудський при характеристиці людей майже не вживав слова пан, ба більше, з притаманною йому іронією скептично відносився до цього статусу. Разом з тим в листі пише: «В начале октября на станцию пришел некий господин, седоватый, сутулый, медленный на речь и тугой на слух. Просит разрешение переночевать у нас, называет себя энтомологом Владимиром Афанасьевичем Караваевым. А как раз этим летом мы все с увлечением прочли две книги Караваева — путешествия по Зондскому архипелагу. Приняли его».

Незважаючи на вислів «некий господин», зоолог В. О. Караваєв виявився досвідченим, вихованим, культурним, видатним вченим, а також і заможним паном. До речі, остання обставина виявилася вирішальною в планах вченого щодо створення ентомологічної лабораторії та будівництва будинку на станції. Звернемо увагу на приглухуватість вченого, що могло вплинути на деяку його відлюдкуватість. Відмітимо, що книжки, написані ним про свої подорожі на тропічні острови [Karawajew 1913, 1916] в значній мірі допомогли при знайомстві з завідуючим станції і особистість автора постала в приваблюючому світі. Вчений розповів О. Ф. Слудському, що має маєток у Київській губернії, де облаштував ентомологічну лабораторію. Передбачаючи пограбування маєтку, вирішив перевезти свої чисельні зоологічні колекції та лабораторні прилади в Крим. Для цього планував побудувати будинок та дав завдаток на купівлю землі в районі Отуз (приблизно 5 км від станції). Приїхав, щоб подивитися ділянку, але його здурили — земля знаходилася в недоступному місці і він від неї відмовився. Безумовно, він був сильно розчарований, пригнічений. Знав, що поблизу існує станція, тому і прийшов, щоб отримати допомогу та зупинитися на короткий строк.

Красоти Карадага причарували вченого. Широка морська бухта знаходилася в оточенні сірих шиферних пагорбів з пожухлою брудно-жовтою травою і ще зеленими деревами дикої фісташки. Дивна, різнокольорова ковдра шліфованих морем гірських порід покривала берег. Зі сходу до бухти підходили грізні крутогорі скелі древнього вулкану Карадаг. Людська уява малювала кам'яну казку, образи якої ніби набували оживленого вигляду: здавалося, що ці скелі знаходилися поза цивілізацією. Людина ще не опанувала цей затишний, привабливий своєю незайманою, казковою красою край. Простора, кількаповерхова, білокам'яна будівля станції (рис. 3) стояла на пагорбі, між двома, врізаними в суходіл бухтами, над самим морем, поміж дикої, неприборканої природи і виглядала фантастичним маяком для мандрівників в інтелектуальних сферах.

Можна припустити, що цей чарівний краєвид настільки сподобався В. О. Караваєву, що можливі сумніви щодо притулку на станції, зникли. Вище було згадано бухту Тіфу на тропічному острові Буру, де вчений, з огляду на незайману, чудову, пишну тропічну природу, хотів залишитись на деякій час, але не зміг, бо тропічна подорож заздалегідь була спланована.

Рис. 3. Карадазька наукова станція імені Т. І. Вяземського (на той час недобудована). Поштова листівка 1911-1912 рр.

Fig. 3. Karadag Scientific Station named after T. I. Viazemsky (unfinished at that time). Postcard 1911–1912.

Виникає своєрідна спорідненість Карадагу і Тіфу, що знаходиться в площині хоча і різної, але незайманої природи. На відміну від Тіфу, вчений не планував шукати поза Карадагом місця для наукової діяльності.

В очах вченого Карадаг постав окремим острівцем, відокремленим від цивілізації, від основних шляхів сполучення, довкілля якого було оточено морем та дивовижними скелями. Крім маєтку Т. І. Вяземського, були ще невеличкі будиночки землевласників — Кондратова та Роде. Це була сезонна територія — власники земель приїжджали сюди літом на відпочинок. На осінь та зиму залишалося кілька робітників, аби доглядати за будівлями та майном. Вчений спробував домовитися з місцевим землевласником Кондратовим про купівлю в нього 2 десятин землі поруч зі станцією, але виявилося, що земля вже була продана і поблизу нічого не продавалося. Тоді, О. Ф. Слудський з огляду на те, що В. О. Караваєв вже в той час був відомим вченим, що Карадаг йому припав до душі, запропонував нічого не купуючи, ввійти в угоду з Товариством для отримання ділянки землі і будівництва будинку. Така ідея сподобалася, і обидва погодили між собою схему, за якою Товариство надавало В. О. Караваєву в довічне користування кімнату на станції для обладнання ентомологічної лабораторії та ділянку землі під житловий будинок. Всі витрати з облаштування лабораторії та будівництва житлового будинку вчений брав на себе. Він пробув на станції кілька днів, після чого поїхав до Києва для того, щоб знову повернутися з деяким майном та частиною своїх зоологічних колекцій.

З листа ми також дізнаємося, що з середини листопада В. О. Караваєв планував посилати з Києва на станцію свої ентомологічні колекції для подальшого збереження — без огляду на те, чи прийме Товариство його пропозицію, бо передбачав пограбування маєтку. В разі, коли його пропозиції будуть прийняті, то він почне посилати прилади, які стануть власністю станції. О. Ф. Слудський був впевнений в необхідності залучення вченого до наукової діяльності на станції: «Мне чувствуется, — звертався він до О. П. Павлова, — что в лице Караваева станция может приобрести очень ценного сотрудника и что его дела на станции могут, в случае соответствующей почвы, пойти гораздо дальше его обещаний в официальном предложении».

Із матеріалів ЦІАМ видно, що після від'їзду В. О. Караваєва, О. Ф. Слудський розробив розширений проект звернення в Товариство, до якого додав план наміченої земельної ділянки і все це відіслав до Києва. В першій половині листопада вчений пише заяву до Товариства і додає до нього розширений проект звернення, розроблений разом із О. Ф. Слудським.

У зверненні, яке було надіслано О. Ф. Слудському, він просить Товариство виділити в довічне користування кімнату верхнього поверху станції, яка вікнами виходить на південь та захід. На той час ця кімната пустувала. Додамо, що з цієї кімнати відкривається чудовий, захоплюючий вид на море, на мис Меганом, а коли вийти на балкон, то ліворуч, на схід розташовані казкові скелі древнього вулкану Карадаг, праворуч, на захід біліють мальовничі вершини Ечкідагу. Для ентомологічної лабораторії (як з рештою і для іншої наукової лабораторії) це чудове місце для творчої праці. Тут вчений мріяв працювати, планував своє подальше життя пов'язати з Кримом, з станцією.

Він узяв на себе зобов'язання повністю обладнати свою лабораторію. Для цього планував перевезти, або переслати з Києва мікроскопи, мікротоми, фотографічну камеру, два термостати, велику кількість скляного посуду, анілінові та інші фарби, різні хімічні препарати та ін.

Також в лабораторії мав бути лабораторний стіл, письмовий стіл, три книжкові шафи. Крім того, В. О. Караваєв мав передати Товариству свою велику колекцію мурашок. За собою залишав право виділяти дублети та унікальні екземпляри для зоологічного музею в Петербурзі. Брав на себе зобов'язання вислати на станцію прилади та частково колекції при отриманні згоди Товариства на його пропозиції. Меблі обіцяв доставити на станцію після того, як буде відновлена нормальна робота залізниці.

По друге, просив надати йому в довічне користування ділянку землі для того, щоб своїм коштом побудувати на протязі п'яти років житловий будинок не менш, як на 5 кімнат та привести земельну ділянку навколо будинку в культурний вигляд. Все, що є на цій ділянці землі належить Товариству, але знаходиться в довічному користуванні вченого. Він брав на себе всі витрати по утриманню будинку та території довкола нього, про те — меблі, книги, особисті речі, складали його особисту власність і він міг це заповідати, кому побажає.

По третє, як пише вчений, в разі, якщо дві попередні його пропозиції будуть прийняті, то він передає станції свою особисту бібліотеку по природознавству. Головним чином по біології, що складається приблизно з 600 томів. Також передає свою досить значну колекцію комах та різних інших тварин, головним чином екзотичних. До заяви В. О. Караваєв додав план земельної ділянки та список із 43 своїх надрукованих наукових праць.

Вже 26 листопада О. Ф. Слудський відправляє до Товариства звернення В. О. Караваєва, а в окремому листі висловлює свою думку з приводу цієї заяви по всім її трьом пунктам. Виділимо головне. О. Ф. Слудський розширює межі звернення В. О. Караваєва, він дивиться у майбутнє, на ту користь, яка буде від діяльності лабораторії на розвиток самої станції. Зокрема, вказує, що створення ентомологічної лабораторії започаткує початок іншим науковим лабораторіям, діяльність яких створить загальне ціле — роботу всієї станції. Також О. Ф. Слудський був зацікавлений в залученні до штату станції такого відомого вченого як В. О. Караваєв, користь від цього, безумовно, була і самому Товариству. Таким чином В. О. Караваєв мав відкрити нову сторінку в науковій діяльності станції шляхом створення першої наукової лабораторії — ентомологічної. Ділянка землі, яка була передбачена для передачі, зовсім не використовувалася. Тому, О. Ф. Слудський уважав, що надання її в довічне користування буде вигідно Товариству, оскільки не Товариство, а В. О. Караваєв буде приводити її в культурний вигляд.

На фоні негараздів 1917 р., О. Ф. Слудський щиро вірив в можливість реалізації задумів не тільки В. О. Караваєва, але й своїх, а з рештою і самого засновника станції. Вірив, бо він жив справами станції, її науковим майбутнім, її повсякденним життям. Ця віра виростала в переконливу мрію в майбутній розквіт науки на станції, ця віра переконує і нас в тому, що всі задуми О. Ф. Слудського та В. О. Караваєва здійсняться! Наприклад, О. Ф. Слудський концентрує увагу на тому, що Т. І. Вяземський мріяв, щоб створити поблизу станції культурне наукове поселення. Для цього уважав за необхідне безкоштовно наділяти діячів науки ділянками землі за умови будівництва на них будинків. Звісно, що пропозиція В. О. Караваєва йде назустріч побажанням засновника станції, але з більш вигідних для станції позицій — надання землі не в приватну власність, а в довічне користування. Звичайно, що тут виникає обмеження в правах самої людини, на які, зрештою вона й погодилася заради науки, заради свого життя в науці. О. Ф. Слудський з подробицями пише про вигоди Товариства з тим, щоб позитивно вирішити питання В. О. Караваєва, яке вже стало і його власним питанням з огляду на наукову діяльність станції.

Стосовно третьої частини заяви щодо власної бібліотеки, яку вчений згоден передати станції, то тут іншої думки бути не може, підкреслює О. Ф. Слудський, адже для станції це буде цінним надбанням, особливо з огляду нової біологічної літератури.

У кінці свого листа завідуючий станції просить Товариство прийняти пропозиції В. О. Караваєва в усіх трьох частинах з єдиним додатком від себе — обов'язковим наданням щорічного звіту по лабораторії. Останнє зауваження цілком слушне, бо в обов'язки завідувача станції входило надання Товариству щорічного звіту. По матеріалам АКБС, саме із звіту по станції за

1917 р. дізнаємося не тільки про вищевказані пропозиції В. О. Караваєва, які викладені у звіті в анотованій формі, але й про те, що від нього станція отримала пожертву у вигляді зуба мамонта з Західного краю та зразок лави вулкану Везувія. Ці пожертви були прийняті до музею станції і експонувалися в ньому.

Матеріали ЦІАМ свідчать про те, що на початку грудня О. Ф. Слудський відправив до Товариства лист з заявою В. О. Караваєва та своїми зауваженнями та коментарями. Вже 15 грудня в засіданні Бюро Товариства з увагою та великою зацікавленістю була розглянута заява вченого. Невдовзі, 22 грудня йому була надіслана відповідь за підписами голови Товариства професора С. А. Федорова та секретаря, професора М. Ф. Чарновського. У відповіді зазначалося, що пропозиції В. О. Караваєва та міркування О. Ф. Слудського щодо цих пропозицій визнані принципово прийнятними. Це питання потребує конкретних юридичних заходів і буде розглянуте на обговоренні Ради Товариства в січні 1918 р.

У 1917 р. В. О. Караваєв вирішив, незважаючи на несприятливий в політичному відношенні час, створити ентомологічну лабораторію, подарувати станції свою бібліотеку, побудувати власний будинок, облаштувати своє життя.

1.3.3. 1918 рік

Справа В. О. Караваєва успішно просувалася в Товаристві за сприянням відомого вченого у сфері виробництва М. Ф. Чарновського. На засіданні Ради Товариства, що відбулося 19 січня, було вирішено, що пропозиція В. О. Караваєва має отримати законодавчу силу у формі двох актів.

Перший акт — це письмова заява про передачу у власність Товариства обладнання лабораторії, колекцій та бібліотеки. В ньому рекомендували детально розробити правила користування лабораторією — Товариство вважало за необхідне, щоб і інші особи могли користуватися лабораторією, оскільки станція керується суспільною направленістю у своїй діяльності.

Другий акт торкався нотаріального договору на передачу Товариством В. О. Караваєву земельної ділянки під будівництво будинку. На жаль, оформлення цього акту у зв'язку з політичною ситуацією відклали. Про це, як свідчать матеріали ЦІАМ, повідомили В. О. Караваєва в листі від 28 лютого 1918 р. В документах ПАНС зберігся лист М. Ф. Чарновського до О. Ф. Слудського від 17-19 січня, в якому автор листа раніше інформує свого адресата про вищезгадане рішення. Також М. Ф. Чарновський, між іншим, з жалем зазначив, що «Никакие пророчества о близком конце большевизма не оправдались, […]. Никакие «моральные меры» — протесты и т<ому > п<одобное> на большевиков не действуют. Нужно, чтобы пришла сила. Высшие школы объединились, и думаю, что их решение будет единогласно: руки прочь». Зауважив, що поза вищими школами проникає дух «соглашательства». Планує в квітні тікати із Москви, хотів би приїхати із сім'єю на станцію (деякі обставини не дозволили цього зробити). Поступове утвердження більшовизму призвело до того, що восени 1918 р. Товариство було ліквідоване, а його мільйонні капітали конфісковані (про це працівники станції не знали до кінця 1921 р.).

Бачимо, що Товариство змістило акценти і на перше місце поставило передачу В. О. Караваєвим Товариству лабораторії, колекцій, бібліотеки, а потім вже земельної ділянки, яку передати від Товариства до В. О. Караваєва виявилося неможливим. Відмітимо, що вчений був налаштований на те, щоб в першу чергу йому передали земельну ділянку. Проте, обидві сторони розуміли, що основною перешкодою в здійсненні планів є більшовицька влада, в утвердження якої ще остаточно не вірили.

У матеріалах АКБС, зі звіту по станції за 1918 р., дізнаємося, що цей рік приніс для неї важкі випробування. Станція фактично опинилася відірваною від Товариства, її фінансування було призупинено і вона вимушено перейшла на важке самостійне існування. За рік в Криму змінилося п'ять урядів. Однак, ідея станції зустрічала незмінне співчуття незалежно від того

чи іншого політичного режиму. Особливо тривожним був період більшовицької влади (січень-квітень). В Феодосії і сусідньому з Карадагом Коктебелі пройшла хвиля погромів поміщицьких господарств. Були побоювання щодо погрому маєтку станції. Але, завдяки відносно ізольованому географічному положенні станції, хвиля погромів туди не дісталася. Проте, місцеве населення намагалося захопити землі станції, але представники більшовицької влади (!) в Феодосії не дали цього зробити. О. Ф. Слудський, як завідуючий станції, зайняв по відношенню до різних політичних партій нейтральну позицію і представляв станцію як сугубо наукову організацію. Така позиція допомогла не тільки врятувати станцію, а й отримати деяке фінансування з боку більшовицької влади. Також суттєву підтримку станції надавав відомий політичний діяч С. С. Крим; станція отримала кредит зі сторони деяких місцевих представників татарського населення і завдяки цьому рік завершився для станції благополучно.

Із неприйнятною суттю більшовицькою влади В. О. Караваєв міг зіткнутися в Києві, коли на короткий час — з 10 лютого до 2 березня — більшовицькі війська захопили місто. В Криму нова влада затрималася довше: від грудня 1917 р. по квітень 1918 р. У травні 1918 р. Крим окупували німецькі війська. Вони поновили залізничне сполучення між Києвом та Кримом [Sidyakin 1993: 27–28]. Це дало змогу вченому приїхати на станцію в літній період, після чого він перебував там приблизно до другої половини жовтня. Вище ми зазначили, що в листопаді 1917 р. він, незалежно від обставин у стосунках з Товариством, а також з огляду можливого пограбування свого маєтку, вирішив надсилати на станцію свої збори по мурашкам для подальшого їх збереження. Допускаємо, що посилки йшли на станцію і у 1918 р., крім того, необхідні наукові матеріали та обладнання вчений міг перевозити, коли була можливість, самостійно.

На станції вчений отримав кілька великих посилок з мурашками, які були заспиртовані і згодом спирт він віджимав із вати: «с целью очистки, перегонял спирт в большой колбе на водяной бане», поміщеної у відро з водою, вся конструкція підігрівалася на повітрі, на печі — «буржуйці», що опалювалася дровами [Slydsky 2004–2005: 63]. Спирт був потрібний для подальших досліджень, а мурашки відбиралися для складання сухої колекції. Щоб зрозуміти ситуацію з заспиртованими мурашками, згадаємо про методику, якою користувався вчений під час збору мурашок. Він радив збирати мурашок у спирт, у закорковані трубочки з прямим дном. При цьому треба було користуватися спиртом міцністю 80°, бо міцніший спирт робить мурашок крихкими Докладніше методику викладено у роботі [Karawajew 1934: 33–37].

Наукова робота на станції велася силами небагатьох людей. З документів АКБС (звіт за 1918 р.) дізнаємось, що завідуючий станцією О. Ф. Слудський збирав викопні форми фауни, його помічник В. М. Вучетич, займався ентомологічними зборами, а разом вони продовжували роботи по дослідженню глибин та картографуванню морського дна біля берегів станції; з приїжджих був І. Шистовський (згодом він став працівником станції), який з науковою ціллю користувався бібліотекою станції. Несподівано дізнаємося, що видатний український зоолог С. Ю. Кушакевич збирав матеріал по розвитку сперматозоїдів у молюсків, переважно у гастропод. Крім того, 15 серпня О. Ф. Слудським було розпочате, за ініціативою професора Н. О. Маркса, дослідження карстового колодязя на горі Великий Агармиш біля містечка Старий Крим.

Сергій Юхимович Кушакевич пробув на станції дуже короткий строк, в своїх спогадах Є. О. Слудський (докладніше про спогади нижче) зазначив, що кілька днів і при цьому з жартом добавив: «Потому, что не оказалось подходящей для него кровати» (мається на увазі, що був високий на зріст) [Slydsky 2004–2005: 97]. Проте, ми вважаємо, що він був більше, ніж кілька днів, бо для проведення досліджень кількох днів явно мало. За якими обставинами він опинився на станції поки що невідомо. Можливо, йому порадив побувати на станції В. О. Караваєв. Обставини приїзду С. Ю. Кушакевича в Крим відомі — в середині липня він приїхав для вирішення питань по створенню філії Київського університету в Криму [Sidyakin 1998:

30–31]. У звіті за 1918 р. однією фразою сказано про дослідження В. О. Караваєва: «[…] коллектировал муравьев Карадага и его окрестностей». Що стоїть за цим фрагментом? Звернемося до окремих положень методики, за якою вчений збирав мурашок . Він вказував на те, що мурашки сильно варіюють не тільки в межах своєї колонії, а й залежно від природних, екологічних умов. Тому треба збирати з колонії не менше як кілька десятків представників кожної касти. Збирати з колоній, що живуть в різних екологічних умовах — в лісі, на степових ділянках, на сухих і зволожених грунтах, в умовах доброго та бідного харчування і т. ін. [Karawajew 1934: 32–33]. Різні, мозаїчні екологічні умові характеризували Карадаг та прилеглі до нього місцевості, де у підніжжя невисоких гір була розповсюджена степова та шиблякова рослинність, а на висотах біля 400–500 м над рівнем моря, зустрічалася лісова рослинність і опадів випадало в першому випадку приблизно 300 мм на рік, а в другому до 450 мм на рік. Безумовно, треба було врахувати характер і експозицію схилів, особливості гірських порід та грунтів, наявність природних джерел та невеличких водойм та багато дечого іншого. Тобто, в дослідженнях мурашок був присутній комплексний екологічний підхід в районах досліджень: Коктебелю, бухти Єнишари, Отуз, дальніх та ближніх околиць станції, тощо. Ці райони від станції розміщені на відстанях від 4 до 15 км. Тобто, треба було подолати по перетятій місцевості від восьми до тридцяти кілометрів на день, а ще й дослідити умови проживання мурашок та зібрати їх. Це досить значне як фізичне, так і дослідницьке навантаження. Нижче сам вчений засвідчить про те, що майже щодня, долав відстань в межах 20-30 кілометрів.

У сусідньому з Карадагом Коктебелі проживав відомий поет М. О. Волошин. Час від часу вчений заходив до нього в гості, про що свідчить знавець творчості поета В. П. Купченко: він вказує, що на протязі літа 1918 р. заходив «работавший на Карадаге энтомолог В. А. Караваев» [Kupchenko 2007: 53].

На жаль, наукові звіти по станції за 1919–1921 рр. нам невідомі. Зрозуміло, що в них можуть міститися важливі, часом неочікувані факти. Можливо, згодом можна буде їх висвітлити.

Скоріше всього, в кінці жовтня 1918 р. вчений виїхав до Києва, щоб вирішити деякі наукові справи. Також в Києві лишалися значні фінансові та матеріальні заощадження — з ними теж потрібно було щось робити. Головною науковою, культурною подією в Києві в листопаді 1918 р. було створення Української академії наук (далі: УАН) на чолі з академіком В. І. Вернадським.

1.4. Київ, 1919 рік

У Києві в 1919 р. з лютого по серпень встановилася більшовицька влада. Керівництво УАН та переважна більшість вчених залишилася в Києві. В квітні В. І. Вернадський зазначив, що руйнування життя збільшилося, а покращень не видно. Вчені в такій ситуації намагалися більше науково працювати. Стосовно себе В. І. Вернадський занотував у щоденнику від 18 квітня 1919 р.: «Много научно работал, и это главная часть моей жизни. Мне кажется, культурная личная работа у многих усугубляется» [цит. за: Onischenko 2011*a*: 133]. Наукова праця відволікала багатьох вчених від жахливих реалій повсякденного життя. Наприклад, В. О. Караваєв знаходив вихід у постійних польових зоологічних дослідженнях в околицях Києва. Про це згадує В. І. Вернадський в своїх нотатках від 19 квітня 1919 р.: «Встретил В. А. Караваева — экскурсирует и в этой работе забывает происходящее» [ibid.: 133]. В цей час в суспільстві, в науковому середовищі люди починають розуміти, що більшовицька влада гірша за старий режим. В. І. Вернадський дуже влучно характеризує своє (загалом не тільки своє!) ставлення до більшовицької влади в щоденнику від 29 травня 1919 р.: «Мне больше всего напоминает происходящее завоевание культурного греко-римского мира магометанством времен халифата. Только уже исчез фанатизм, так как сторонники — идейные — большевизма — ничтожны» [ibid.: 136].

Щодо знайомства В. О. Караваєва з В. І. Вернадським відмітимо таке. В щоденнику, в записах від 18 лютого 1942 р. В. І. Вернадський точно не може вказати, коли познайомився з

В. О. Караваєвим. Аналізуючи характер запису ми припускаємо, що це міг бути серпень-вересень 1917 р., під час перебування В. І. Вернадського в Києві. Вчений дає таку характеристику особистості В. О. Караваєва: «Фигура В. А. [Караваева] бросалась в глаза — он действительно был похож на муравья — крупным специалистом в этой области он тогда уже был» [цит. за: Volkov 2005: 98–99].

Під час більшовицької влади в Києві, на протязі березня-квітня була проведена організаційна робота по створенню зоологічного музею, який офіційно було зареєстровано 1 травня. Очолив музей академік М. Ф. Кащенко, В. О. Караваєв став першим науковим препаратором зоологічного музею. Він зробив великий внесок в організацію музею, подарувавши більшу частину своїх зоологічних колекцій: «1) колекцію тропічних комах, здебільша — метеликів, що […] зібрав переважно на о. Яві (25 великих скриньок, разом із шахвою на 80 скриньок, 2) невелику колекцію фігур місцевих птахів, 3) кілька фігур малайських птахів і ссавців, 4) коллекцію спиртових препаратів, здебільша — рептилій з о. Ява, 5) колекцію черепків морських м'якунів, 6) невелику колекцію коралів з Сингапуру та 7) колекцію місцевих комах з різних рядів (близько 40 скриньок)» [Karawajew 1926: 22]. Сучасниця вченого, відома історикиня Н. Д. Полонська-Василенко відмічала, що в музеї «була славетна колекція комах, жуків, метеликів, зібрана В. О. Караваєвим під час його подорожувань по всьому світі» [Polonska-Vasilenko 1993: 105]. Бачимо, що в очах сучасників він був також визнаним мандрівником по всьому світі. Ряд авторів вважають, що музей засновано М. Ф. Кащенком разом з В. О. Караваєвим. Про це, зокрема, пише секретар зоолога М. В. Шарлеманя Г. К. Голдін: «[Н. Ф. Кащенко] в 1919 г. совместно с В. А. Караваевым создает зоологический музей…» [цит. за: Ulyanovsky 2015: 741]. На цей факт вказує і Н. І. Конотопець [Конотопець 1980: 223]. Оскільки, академік М. Ф. Кащенко, крім зоологічного музею, був також директором акліматизаційного саду і більше уваги приділяв саме цій установі, то фактично за директора слід вважати В. О. Караваєва. Докладніше про організацію музею викладено в роботах [Karawajew 1926; Pidoplichko & Scherbak 1969; Pohrebniak *et al.* 2010; Charlemagn 1935 *et al.*]. Загалом, історія створення музею потребує уточнень, проте наявні дані дозволяють говорити саме про провідну роль у формуванні й керуванні музеєм саме В. О. Караваєва [Zagorodniuk 2015, 2019: 300–301].

Ще до створення музею В. О. Караваєв лишився своїх заощаджень — органи більшовицької влади розбійницькі пограбували його у власному будинку. Про цю ситуацію коротко повідомив В. І. Вернадський у своєму щоденнику від 18 лютого 1942 р.: «Он очень пострадал, т[ак] к[ак] потерял все свое состояние, которое пробовал скрыть — но уже при мне кажется, в стенах его дома [оно] было найдено и конфисковано.

Я не думаю, чтобы это было очень тяжело. С образованием Академии он передал всю свою коллекцию. Он стал консерватором Зоол[огического] музея академии…» [цит. за: Volkov 2005: 98]. Звісно, що серце вченого було віддане науці, але бути пограбованим на власних очах — це занадто, це дуже важко.

На зміну більшовицькій владі, до Києва 18 (31) серпня 1919 р. прийшла Добровольча армія. В наукових колах багато хто чекав на денікінців і покладав певні надії, пов'язані з зміцненням положення УАН. Чекав на Добровольчу армію і академік В. І. Вернадський. Проте, нова влада скасувала законодавчі акти всіх попередніх українських урядів, у тому числі і про створення УАН. Почався масований наступ на українську культуру. В цих несприятливих умовах президент УАН академік В. І. Вернадський пішов на суттєві поступки заради збереження академії, але вже на інших засадах. Пропонувалась, зокрема, нова назва — Київська академія наук, яка в значній мірі мала бути російською, але із збереженням вивчення України. Проте, денікінська влада не хотіла допустити жодних проявів «українізації». Для збереження академії В. І. Вернадський у вересні 1919 р. здійснив першу поїздку в Ростов, а потім в ставку Денікіна в Таганрозі, але результату не отримав, докладніше про це викладено в роботі О. С. Онищенко [Onischenko 2011*b*: 612–618].

В жовтні, у зв'язку з наступом більшовиків, в Києві почалася паніка — люди почали покидати місто. В. І. Вернадський не вірить і не хоче вірити в те, що знову прийдуть більшовики. По дорозі на роботу він зустрів В. О. Караваєва, який розповів, що «[…] из Фастова и Ирпеня идут большевики, что добровольцы не оказывают сопротивления […]», — занотував він в щоденнику 14 (27) жовтня [цит. за: Onischenko 2011*a*: 172]. В. І. Вернадський веде жваву дискусію про міцність Добровольчої армії. На цю тему з ним спілкується і В. О. Караваєв, який притримувався, як відмітив В. І. Вернадський, правих поглядів [ibid.: 171]. В рамках цієї дискусії більшість, разом з В. І. Вернадським, була за єдину неподільну Росію, а менша частина — за монархію. Через місяць В. І. Вернадський прийшов до висновку, що неухильне намагання Добровольчої армії до реставрації, несе величезну небезпеку [Onischenko 2011: 618]. Слід думати, що зазнали змін і погляди В. О. Караваєва.

Положення в УАН у зв'язку з відсутністю фінансування було катастрофічнім. Тому В. І. Вернадський вирішив зробити другу поїздку до Ростова. Цією нагодою скористалися вчені, що не вірили в міцність денікінської влади та не хотіли опинитися під більшовиками. Вони евакуйовувалися з Києва разом з сім'ями. В. І. Вернадський членів своєї сім'ї довіз до Полтави. В цій групі вчених їхав у вагоні — теплушці і В. О. Караваєв з дружиною. Їхали дружньо, було багато розмов, у тому числі і про зоологічний музей. У розмові з Н. П. Василенком (другий Президент ВУАН у 1921–1922 рр.), а раніше і з В. О. Караваєвим, В. І. Вернадський відстоював думку, що великий музей в Києві не повинен повторювати петроградський зоологічний музей. Ідея полягала в тому, щоб академічні зоологічні музеї, які виникнуть на території Росії могли би доповнювати один одного. Це дало би змогу вченим працювати, не виїжджаючи за межі країни. В. Н. Василенко мав іншу позицію. Він традиційно захищав свою ідею про [особливу] роль Києва і вважав, що зоологічний музей в Києві повинен вивчати фауну місцеву і фауну тропічну [Onischenko 2011: 181]. Припускаємо, що такої точку зору притримувався і В. О. Караваєв, оскільки сам працював в тропіках і привіз багато зоологічних колекцій.

До Харкова їхали тиждень, прибули туди 17 (30) листопада. В місті паніка у зв'язку з відступом Добровольчої армії. Коротко прослідкуємо подальший маршрут В. І. Вернадського, а потім повернемося до В. О. Караваєва. З Харкова до Ростова В. І. Вернадський їхав ще тиждень і прибув туди 24 листопада (7 грудня) і зразу почав займатися справами академії. Йому вдалося домогтися в денікінському уряді 11,2 млн. крб. на фінансування академії. Проте, до Києва повернутися вже було неможливо, бо місто захопили більшовики. «Так кончилось мое президентство в Укр[аинской] Акад[емии] наук», — відмітив В. І. Вернадський [цит. за: Onischenko 2011*b*: 620]. Зрештою, в лютому 1920 р. на пароплаві з Новоросійська він дістався до Ялти і ще по дорозі захворів на тиф [Sidyakin 1993: 58]. Вже в березні він став професором Таврійського університету, а в вересні 1920 р. його ректором [ibid.: 59, 64]. Вчений перебував в Криму до лютого 1921 р., а 17 лютого разом з сім'єю в окремому вагоні, що знаходився у складі санітарного поїзду, виїхав з Севастополя до Москви [ibid.: 77].

В. О. Караваєв та його дружина залишили «академічний» вагон в Харкові. Далі їх шляхи розходяться. Нам поки що невідоме місце перебування Н. М. Караваєвої в той час, коли її чоловік знаходився на станції. За великі гроші можна було купити квиток до Симферополя і В. О. Караваєв, очевидно, цим скористався. Перед виїздом з Києва, він оформив відрядження до станції, а пізніше зазначив, що за умов громадянської війни залишався там до травня 1921 р. [Karawajew 1926: 25]. На час його відсутності посаду консерватора займав зоолог М. В. Шарлемань [Shmelov 1993: 233].

1.5. Життя на Карадазькій науковій станції в 1919–1921 рр.

У 1919–1920 рр. станція формально знаходилася у віддані Управління (з травня 1920 р. — Відділу) народної освіти уряду при Головнокомандуючому силами на півдні Росії. Скоріше всього, фінансування станції в цей час не було. Відомо, що у вересні 1920 р. на станції деякий

час перебував співробітник Політичної частини штабу Врангеля Б. В. Валенбургер. В цей час, перебуваючи з візитом на станції, з ним знайомиться поет М. О. Волошин [Kupchenko 2007: 107] і інші працівники станції.

Судячи з дат, зазначених В. О. Караваєвим при дослідженні мурашок на станції та в її околицях, дізнаємося, що вчений був там весь вересень і частину жовтня. В другій половині жовтня на короткий строк повернувся до Києва і виїхав на станцію, як зазначено вище, в листопаді і вже 26 листопада 1919 р. вчений вивчав представників виду *Camponotys* [Karawajew 1927*b*: 294]. І саме головне — він був поруч зі своїми дорогоцінними тропічними зборами мірмекофауни, про які ми згадували вище. Станція стала сприятливим місцем для всебічного вивчення місцевих мурашок. Науково якісно обробляти тропічні збори, як зазначив вчений, не було можливості [Karawajew 1925*b*: 69] (очевидно за відсутністю спеціальної літератури та необхідного обладнання). Разом з тим, як було показано вище, він обробляв заспиртовані збори мурашок, переганяючи з них спирт на пічці-буржуйці [Slydsky 2004–2005: 63] і далі міг формувати сухі колекції мурашок.

Безумовно, В. О. Караваєв опікувався і нагальними проблемами станції, особливо в її науковій діяльності. Деякі факти про життя вченого дізнаємося із спогадів очевидця тих подій — сина завідуючого станцією Є. О. Слудського. Він разом з батьком весь час перебував на станції в період 1917–1922 рр. Автор цікавих, інформативних спогадів про людей, станцію та різні події, що відбувалися в той час. Спогади написані в кінці 1980-х рр. [Slydsky 2004–2005]. Часом в спогадах знаходимо дещо упереджене відношення до тієї, чи іншої людини. Зокрема, це стосується і В. О. Караваєва, якого автор спогадів визнає з однієї сторони як великого вченого мірмеколога, а з другої характеризує в якості егоїста, похмурої, неговіркої людини, «муравьеда» [Slydsky 2004–2005: 62]. Напевно, треба враховувати специфічне сприйняття людей та подій, притаманне людям в дитячому віці, в якому і перебував на той час автор спогадів. Разом з тим, підкреслимо, що від цього спогади своєї цінності не втрачають, а, можливо, тільки примножують її. Можливо, характер вченого під впливом революційних руйнувань, міг набути хмурного відтінку. Зупинимося, переважно, на науковій діяльності вченого та тих умовах, серед яких вона відбувалася.

Автор спогадів так характеризує вченого: «[…] высокий, худощавый угрюмый старик с короткостриженной седой шевелюрой, профессор, великий специалист по муравьям. […]. Приехал из Киева в году 1918-м., прожил на Карадаге года два, если не больше, папа устроил его метеорологом-наблюдателем. […]. Его не любили, заглазно называли эгоистом, «муравьедом» [Slydsky 2004–2005: 62]. Тут перебільшення, бо вчений не міг постійно працювати метеорологом-спостерігачем, бо був зайнятий дослідженнями мірмекофауни. Скоріше всього, спостереження робили всі наукові працівники станції, коли мали на те час. Зазначимо, що в 1918 р. були зроблені перші кроки для створення метеорологічної обсерваторії — улаштована метеорологічна будка та встановлено дощемір. Метеорологічну будку треба було наповнити необхідними приладами, тому метеорологічні спостереження деякий час не проводили. Свою лепту в розвиток метеорологічних досліджень вніс В. О. Караваєв не тільки в якості епізодичного спостерігача: він власноруч виготовив надійний «незадуваемый» ліхтар.

Цей ліхтар слугував роки. Приблизно в 1924–1925 рр. на Карадазі був страшний буревій, під час якого О. Ф. Слудський провів метеорологічні спостереження і про свої враження написав своєму сину таке: «В воздухе кружились, как осенние листья, тяжеленные черепицы, сорванные с крыши. Угоди такая по голове — могла бы раскроить череп. Повезло, наблюдения сделал, и фонарь не погас. Очень кстати оказался сделанный еще Караваевым на подобные случаи деревянный футляр со стеклянной стенкой» [Slydsky 2004–2005: 37].

Безумовно, як мандрівник В. О. Караваєв міг розповідати про далекі тропічні країни, в яких він побував. Розповідав і дітям, і дорослим. Наприклад, говорив про те, що мешкав на Малайських островах, вивчив місцеву мову, яка досить бідна, примітивна, «дитяча» мова. Наприклад, є певна назва моря, а хвилі звуться дітьми моря. Така схема зберігалася для багатьох

інших об'єктів, в яких є свої мовні діти [Slydsky 2004–2005: 62]. Вчений вважав і рекомендував всім дослідникам та мандрівникам, що планують побувати на малайських островах хоча б трохи знати малайську мову. Справа в тому, що навіть при умові, коли місцевий житель знає одну з європейських мов, спілкуватися з представником цієї мови вважається за неввічливість по відношенню до європейця. От така традиція і потрібно її дотримуватися! Через необхідність, зазначав вчений, «учишься немного по-малайски и радуешься благозвучию языка и детской наивности его духа; со спокойным удовольствием смотришь, как рушатся устойчивые грамматические понятия, без которых мы с самой школьной скамьи не могли представить себе осмысленного языка» [Karawajew 1900: 113].

Таким чином, вчений ненав'язливо популяризував наукові знання. Розповідав він цікаво і розповіді були своєрідною інтелектуальною, просвітницькою подією серед невеличкої групи дорослих та дітей (в кількості до 15 людей), що проживали на станції. Особливо для дітей створювалася атмосфера, націлена на пошук, відкриття, подорожі, на розширення кругозору.

У січні-лютому 1920 р. на станції захворіли тифом В. О. Караваєв, О. Ф. Слудський, В. М. Вучетич та вартівник станції Василь (прізвище невідоме). Всі залишилися живі [Slydsky 2004–2005: 63].

Із спогадів дізнаємося про цікавий дослід вченого за поведінкою мурашок. Він досліджував те, як магнітне поле впливає на шляхи пересування мурашок. Для цього встановив на дошці гальванічний елемент, а знизу прикріпив електромагніт та улаштував цей нескладний прилад над мурашковою стежкою. Автор спогадів про виводи вченого не знав, але зацікавився цим дослідом приблизно через 60 років — на початку 1980-х рр. Для цього в себе у садку він повторив дослід з потужнім магнітом і переконався, що мурашки вибірково реагують на магнітне поле [ibid.].

На станції, ще в перші роки її існування, було започатковано природничий музей. Звісно, що вчений, як музейний працівник, не міг залишатися осторонь від музейної справи. На території станції була невеличка ділянка, де після дощів утворювалася велика калюжа, на дні якої можна було відібрати якісну сіру глину. З цієї глини вчений виготовляв чудові муляжі місцевих птахів, в основному прив'язаних до моря. На той час фарб не було, замість них він робив рідкий розчин цієї глини і зафарбовував ним птахів. Після висихання вони набували гарного сірого кольору [ibid.: 26].

У другій половині 1920 р. вчений зрозумів, що його мрії про будівництво власного будинку на станції та улаштування власної ентомологічної лабораторії залишилися приємними спогадами, оскільки встановлення радянської влади в Криму було питанням часу. Зрештою, він був задоволений тим, що може проводити мірмекологічні дослідження. На станції йому відвели окрему кутову кімнату на другому поверсі житлового будинку, вхід до якою був по окремим східцям через балкон, на який виходили вікна житла. Там йому було затишно і зручно. Свою кімнату він обладнав стелажами та полицями, зробленими власноруч [Slydsky 2004–2005: 62]. Станція стала частиною його життя, саме тут, завдяки творчій атмосфері, що була притаманна для неї з перших днів її існування, яку всіма силами підтримував завідуючий О. Ф. Слудський, він відкривав і прагнув відкривати нове в своїх дослідженнях.

Всього три науковці — О. Ф. Слудський, В. М. Вучетич та В. О. Караваєв — постійно працювали на станції, працювали сумлінно, без огляду на важкий матеріальний стан. Своєю науковою діяльністю вони підтримували статус станції, як наукової установи, тому зі станцією рахувалися всі політичні сили, що приходили до влади в Криму. Наукова робота велася також небагатьма кримськими вченими, які інколи відвідували станцію, серед них був геолог О. І. Спасо-Кукоцький, географ, метеоролог, професор Таврійського університету А. В. Вознесенський.

Останній перебував на станції з початку 1921 р., коли в Криму встановилася радянська влада і принесла з собою найжорстокіші випробування для всього Криму. Він побачив усі

труднощі, з якими стикнулася станція і її працівники у своїй діяльності. Вчений вирішив допомогти і для цього 5 лютого 1921 р. пише листа до В. І. Вернадського (лист, а скоріше варіант його, зберігся в матеріалах ПАНС). А. В. Вознесенський писав, що незважаючи на те, що для охорони станції було призначено одного матроса, це не завадило солдатам, що охороняли узбережжя, заходити на станцію і займатися крадіжками майна, в тому числі книжок. Далі він зазначив, що з 1917 р. немає асигнування зі сторони Товариства (працівники станції ще не знали про те, що Товариство було ліквідоване радянською владою восени 1918 р.) і це ускладнювало роботу станції. Колектив станції на той час складався з сімох людей: О. Ф. Слудського, В. М. Вучетича, В. О. Караваєва, діловода П. Л. Нікольського, бібліотекаря Якушкіної, недавно запрошеного метеоролога К. В. Бакуніна та одного сторожа.

Всі вони вісім місяців не отримували ні копійки і змушені були суцільно займатися турботами про хліб. Всі вони виконували поточні роботи по догляду за будівлями, доглядали за худобою (на станції було кілька корів та коней, були кури), працювали на городах, тощо. В таких умовах акценти з наукової діяльності були зміщені на господарську роботу. Це не означає, що раніше не проводилася господарська робота, але вона в незначній мірі торкалася наукових робітників станції, також була можливість долучати до такої праці тимчасово найманих працівників.

Автор листа пропонує ряд заходів для забезпечення подальшої роботи станції. Серед них — забезпечення працівників заробітною платою та пайком, забезпечення надійної охорони станції, прийняття екстрених заходів для збереження бібліотеки (книги були нерозібрані і зберігалися в мішках в підвальних приміщеннях), просить виділити кошти для будівництва спеціального приміщення для неї. Також пропонує створити спеціальну раду станції, щоб вона змогла відновити зв'язок з Товариством, або з іншою науковою організацією для подальшої опіки за станцією. Саму станцію її працівники бачили в якості біологічної та сільськогосподарської дослідницької. В листі було наголошено, що станція може працювати тільки під егідою сильної наукової організації, щоб врятуватися від остаточного розорення. А. В. Вознесенський зазначив, що подібну записку О. Ф. Слудський вже направив в Таврійський університет.

Скоріше всього, листи В. І. Вернадський отримав і про потреби станції був добре поінформований, чи відповів він безпосередньо їх адресатам, нам не відомо, але про опосередковану відповідь дізнаємося з його роботи про стан науки в Криму в 1917–1921 рр. Вчений, зокрема, пише: «К сожалению, положение станции и библиотеки до сих пор внушает опасения. Леденцовское общество, лишившееся своих капиталов и при перипетиях гражданской войны, не могло помочь станции. В то же время, как частное учреждение, она не получала достаточной поддержки от сменявшихся в Крыму властей — и ученому персоналу станции приходилось не раз очень тяжело. Но работа не брошена, пострадала она не очень сильно, и сейчас есть все надежды на то, что ее удастся поставить и материально в благоприятное сотояние» [цит. за: Onishchenko 2011*c*: 163].

На жаль, станції допомогти не вдалося і її працівники ледь-ледь виживали. Покращення на станції як буде показано нижче, відбулися тільки в другій половині 1922 р., а свою звичайну роботу, розраховану на приїжджих вчених, станція відновила в 1923 р. В. І. Верадський дуже влучно підмітив те, що станція була заснована як приватна і залишалася такою і в Товаристві («Леденцовское общество»), яке теж було приватним і існувало на капітали купця Х. С. Леденцова. Виходило так, що кожна політична сила, що приходила до влади в Криму, з огляду на приватну суть станції, обділяла її у фінансуванні (хоча були епізодичні виключення, які суттєво не впливали на матеріальну підтримку станції). Приватна власність на той час грабувалась, знищувалась, станцію врятував виключно її науковий статус, який своєю працею підтримували наукові працівники.

Таким чином, на станції вже в першій половині 1921 р. стало важко, або, навіть, до деякої міри, і неможливо займатися науковою діяльністю. Крім того, терористичні дії влади та

передчуття страхітливих часів голодомору також не сприяли творчій роботі. Проте, незважаючи на обставини, вчений міг лишитися на станції, але в нього були надважливі справи в Києві. Він мав намір взяти свій рукопис по мурашкам з підродини Ponerinae, який залишив на зберігання в одному з банків (скоріше всього, Києва), відновити свою роботу в зоологічному музеї для продовження якісної наукової обробки тропічної мірмекофауни, а також владнати деякі особисті питання. Тому, в травні 1921 р. почав готуватися до від'їзду, про що пише листа М. О. Волошину, який в цей час перебував в Симферополі. Повідомляє, що взяті книги залишає у О. Ф. Слудського [Kupchenko 2007: 124]. Нам невідомі обставини, завдяки яким В. О. Караваєву вдалося виїхати з Криму, оскільки вільне пересування було заборонено [Zarybin & Zarybin 2008: 696], можливо допоміг М. О. Волошин.

Крим з грудня 1920 р опинився в жахітті «червоного» терору, в результаті якого було розстріляно 56 тисяч людей і це ще неостаточна цифра [ibid.: 691–692]. Крім того, приблизно з середини 1921 р. на Крим став насуватися голод, а потім справжній голодомор, який забрав життя приблизно у 100 тис. людей [ibid.: 694, 704].

У зв'язку з загальною ситуацією в Криму, найстрашніший час для діяльності станції перепадає на 1921 р. і до початку жовтня 1922 р. Саме в цей час станція знаходилася в самому важкому положенні, через голод, що зачепив станцію в 1921–1922 рр. Виникали сумніви щодо можливості зберігти станцію. Співробітники станції не отримували заробітної плати, а з січня 1922 р. перестали отримувати і місцеві продуктові пайки. Деякі працівники залишили станцію у пошуках хліба і кращої долі і загинули від голоду. Ті, хто лишився, могли існувати «только при условиях совместительства, что благодаря изолированному положенню станции, резко уменьшало продуктивность их работы», — відмітив О. Ф. Слудський у звіті по станції за 19221923 рр., що міститься в матеріалах АМТДП. Тобто, спільною роботою на невеличкому господарстві станції, спільного, всіма можливими способами, забезпеченням всіх працівників продуктами харчування. Без такого «коллективного» виживання все було би набагото гірше. Про це свідчила страшна картина того часу — досить і так малочисельне населення місцевостей недалеко від станції, яке було до голоду, частково вимерло, а частково розбіглося і на версти довкола не лишилося ні однієї живої людини. Живими лишилися працівники станції!

Із 1 липня 1922 р. станція формально перейшла під керівництво Московського товариства дослідників природи (Далі: МТДП), а у вересні О. Ф. Слудський ледве зміг дістатися до Москви, де владнав різні організаційні справи. Було затверджено новий устав станції та проведені вибори службових осіб. О. Ф. Слудський залишився на посаді завідуючого. З жовтня станція почала отримувати кошти на оплату праці і інші витрати. Завдяки зусиллям О. Ф. Слудського, станція швидко почала відновлювати свою діяльність і вже навесні 1923 р. вона вже була в змозі розпочати звичайну сезонну наукову роботу.

1.6. Київ: повернення біженців з наукового світу. Завершення історії рукопису

До Києва В. О. Караваєв повернувся в кінці травня 1921 р. В цей час, з різних місць тимчасового перебування, поверталися також інші науковці. Другий Президент Всеукраїнської академії наук (Далі: ВУАН) М. П. Василенко в листі до В. І. Вернадського від 7 серпня 2021 р. зазначив, що до Києва повернулися вчені, серед них Караваєв і що Київ знову може мобілізувати сили и стати науковим центром [Onischenko 2012: 305]. Також в листі від 4 вересня 1921 р. він зазначив: «В Киев мало-помалу возвращаются беженцы из ученого мира. Писал я, кажется, Вам, что приехали Шапошников, Слезкин, Караваев. Дня четыре тому назад приехали Г. Г. Де-Метц, Оппоков и др. Киев снова становится маленьким научным центром» [ibid.: 311]. Кожний біженець був відомим вченим в тій чи іншій галузі науки, всі вони потрібні були для примноження наукового потенціалу ВУАН, але вже в умовах радянської влади, якої вони намагалися уникнути і до якої змушені були повернулися задля того, щоб продовжити свої наукові дослідження.

Ситуація в Києві з продовольством була не набагато кращою, ніж в Криму. Свідок подій того часу, відома історикиня Н. Д. Полонська-Василенко зазначала: «Село довколо було сите, мало, як то кажуть, хліб і до хліба. Місто було ізольоване і замкнене. На шляхах до під Києвом стояли «заградиловки», що їх завданням було не допускати до Києва довозу продуктів, які були потрібні для фабричних центрів і армії й підлягали реквізіції на селі в порядку «продразверстки» […]. Люди пухли з голоду» [Polonska-Vasilenko 1993: 23]. Разом з містом голодувала і ВУАН. Відгук подій того часу знаходимо у «Вступних увагах» до «Звідомлення ВУАН за 1921 р.»: «Коли ми подивимося на матеріальне становище співробітників Академії та її установ, то недоберемо навіть відповідного слова, шоб схарактеризувати минулий зловісний 1921-й: «надзвичайно важкий», «катастрофічний» — це все будуть слабенькі ще терміни» [ibid.: 21]. Бачимо, що радянська влада принесла з собою найжахливішу біду, яку тільки можна було уявити: голодомор (і з ним пов'язаний бандитизм), що був і в Києві, і в Криму, і в інших місцях України. У зв'язку з відсутністю фінансування, в ВУАН, всім її працівникам (також і іншим службовцям інших організацій) надавали землі під городи спочатку в межах міста, а коли землі забракло, то недалеко за містом. Згодом весь Київ оточили городи [ibid.: 23]. Становище ВУАН стало поліпшуватися у 1922 р., коли організація «АРА» із США прийшла на допомогу Україні [ibid.: 24].

Повернувшись до Києва та відвідавши село Мурзинці, вчений зрозумів, що назавжди втратив, як ми зазначили вище, «свою місцевість». Втім, гріла думка, що в Зоологічному музеї можна буде налогодити якісні мірмекологічні дослідження. Багато чого було втрачено. Вчений, вже в згадуваній вище передмові до статті про підродину Ponerinae наводив приклад, що у Звенигородці було втрачено більшість мурашок роду *Polyrhachis* та *Camponotus* через те, що їх вчасно не відправили в Крим люди, на яких він мав надію. Ці люди, від яких ніколи не можна було очікувати якихось поганих вчинків, заради скляних трубочок, викинули з них заспиртованих мурашок. Трубочки було запаковано в картонні кробки — люди розжилися і ними. Ящики, де зберігалися книги, були відкриті і багато книжок пропало. На щастя, вцілила література по мурашкам, яка не прибавила тих самих людей — крадіїв скляних трубочок, картонних коробок, книжок. Повністю була знищена невелика етнографічна колекція з Малайських островів.

Сухі прогрунтовані колекції мурашок сильно постраждали від вологості приміщення, де вони зберігалися протягом кількох років. Проте, вчений не втратив надії відновити колекції шляхом складної спеціальної процедури, яка займе кілька років [Karawajew 1925*b*: 70]. В загальному, мурашковий добуток вченого, завдяки тому, що зберігався на станції, вцілів, у тому числі багато цінних мурашкових гнізд, зовсім нових для науки. Завдяки тому, що із подорожі було привезено значну кількість мурашкових зборів, вчений зміг знайти заміну втраченим у Звенигородці формам *Polyrhachis* і *Camponotus* (за рахунок збережених на станції), але для обробки всього зібраного матеріалу потрібно було ще багато часу [ibid.: 71].

Повернемося до рукопису — доля його в умовах революційних руйнувань, як і доля його автора, виявилася складною. Вчений, за його словами, мав необережність покласти чорновий варіант рукопису, як було зазначено вище, в сейф в одному з банків. Повернути рукопис вдалося з великими зусиллями лише через деякий час, після повернення в Київ — в 1923 р. Нам невідомі подробиці цієї детективної історії з рукописом, проте, згодом, ми, можливо, дізнаємося про неї. В грудні цього року вчений зазначив, що пройшло вже десять років, як він повернувся з тропіків. Вже кілька місяців його наукові матеріали знову поруч з ним в зоологічному музеї ВУАН і він поновив їх наукову обробку [ibid.]. Виправлений рукопис було підготовано до друку в відомому австрійському ентомологічному журналі «Konowia». Рукопис, нарешті, побачив світ в трьох номерах журналу за 1925 р. [Karawajew 1925*b*–*d*]. В надрукованому рукописі йдеться мова про один новий для науки рід, 11 нових підвидів, 6 нових видів та 6 нових різновидів мурашок [Karawajew 1925*b*: 71]. Це значне наукове досягення, бо підкреслює, наскільки

мало на той час була вивчена тропічна мірмекофауна. Дійсно, для В. О. Караваєва історія з рукописом — doctrina est fructus dulcis radicis amarae [наука — це солодкий плід гіркого кореня (лат.)].

Ми розширили рамки цієї історії з життя вченого, доповнили її архівними та літературними матеріалами. Важливо зрозуміти, що станція, а до того маєток в селі Мурзиньцях і пізніше зоологічний музей — всі ці місця були важливими науковими осередками в житті вченого. У цій тріаді станція має особливе, виняткове значення завдяки тому, що надала вченому притулок на час революційних руйнувань 1917–1921 рр. Скоріше всього, без наукової зупинки на станції, сумні події, про які розповів В. О. Караваєв, перетворилися би на трагічні.

Подорож до Голладської Індії успішно завершилася у грудні 1923 р. підготовкою до друку рукопису по мурашкам підродини Ponerinae. Однак, існує невеличке продовження. На протязі двох років виявилося, що у вченого опинився додатковий матеріал до вище зазначеної публікації в австрійському журналі «Konowia». Про це вчений повідомив в передмові до нової статті (продовження попередньої) [Karawajew 1926*a*: 414]. Працю по мурашкам Індо-Австралійської області було послано для публікації в науковий журнал «Treubia» (Бейтензорг, ботанічний сад, острів Ява). В передмові [ibid.: 413–414] вчений стисло зазначив про події, пов'язані з революцією, про те, як поштою посилав на станцію тропічні збори мурашок, в загальному це трохи змінена передмова до попередньої статті.

Таким чином, рукопис, що був схований в банківському сейфі у 1917 р., успішно трансформувався в чотири наукові публікації: в 1925 р. — три [Karawajew 1925*b*–*d*] і в 1926 р. — одна [Karawajew 1926*a*], що разом складають одну велику працю загальним об'ємом у 84 сторінки. Вистраждана праця містила цікавий, новий для науки матеріал, який не втратив свого значення і в сучасних мірмекологічних дослідженнях. Цю працю про підродину Ponerinae можна розглядати в числі головних у науковій спадщині вченого. Можливо, хтось з зарубіжних вчених вже звертався до розгляду цієї і інших праць вченого.

Попереду будуть статті по мірмекофауні тропіків, України, Європи, Азії, інших місць світу, будуть подорожі по Україні, Кавказу, іншим краям. Всі подорожі, здійснені вченим, можна об'єднати в одну велику наукову подорож, якій вчений присвятив своє життя заради вивчення мурашок всього світу. Така подорож не закінчується і до неї будуть приєднуватися дослідники наукової спадщини вченого.

2. Результати досліджень на Карадазькій науковій станції в 1918–1926 роках

2.1. Період 1918–1924 років

Крим не був чужим для В. О. Караваєва, у 1901 р. Володимир Опанасович був завідувачем Севастопольської біологічної станції [Vodyanitsky 1948: 4], а ще раніше познайомився з природою південного берегу літом 1896 р., перебуваючи в Магарачі, в маєтку свого знайомого — натураліста О. О. Рязанцева. Проводячі власні мірмекологічні дослідження, також збирав мурашок для видатного російського вченого М. Д. Рузського, на сторінках монографії якого знаходимо посилання на кримські збори мурашок В. О. Караваєва [Ruzsky 1905: 261, 270, 308, 340, 393, 463, 473, 488, 492 et al.]. (У монографії також вказано на збори В. О. Караваєва в 1895–1896 рр. в Київській, Волинській, Полтавській губерніях, на Кавказі). Бачимо що в цей час формуються мірмекологічні інтереси вченого, в наступні роки з'явилися перші публікації по мурашкам, на яких ми зупинятися не будемо. Біля Магарача, 31.07.1896, вчений виявив нову форму мурашки, яку М. Д. Рузський назвав на його честь: *Cremastogaster auberti karawaewi* n. subsp. [Ruzsky 1905: 497], додавши: «Называю эту форму в честь нашего мирмеколога В. А. Караваева …» [ibid.: 498]. Однак, на думку сучасних мірмекологів, тут мова може йти про аберрантні екземпляри *Cremastogaster schmidti* [Radchenko 2016: 264].

Подальші мірмекологічні дослідження в Криму, а згодом і на станції, слід розглядати в контексті досліджень систематики мурашок з метою їх всебічного вивчення, в тому числі їх поведінкових особливостей. Такий підхід до вивчення мурашок відбувся, за свідченням

вченого, весною 1902 р. [Karawajew 1903*a*: 94]. В наступному 1903 р. В. О. Караваєв для вивчення поведінки мурашок облаштував два штучних гнізда з гіпсу, одне в своєму маєтку в с. Мурзинці, а друге — на південному березі Криму [Karawajew 1903*a*]. В кінці 1902 р. власник маєтку на південному березі Криму в Магарачі, натураліст О. О. Рязанцев надіслав В. О. Караваєву заспиртований після обрізки винограду чубук, в середині якого зимувала запліднена самка мурашок *Cremastogaster scutellaris*. Результати цього дослідження з описом нових даних з біології мурашок викладені ним в окремій статті [Karawajew 1903*b*).

Результати наукових досліджень, які в тій чи іншій мірі торкаються станції, викладені в кількох статтях [Karawajew 1924, 1926*b*, 1927*a*–*b*]. Більш детально зупинимося на основній публікації, де дослідження висвітлені достатньо повно. Публікація вийшла на німецькій мові в Відні, в ентомологічному журналі "Konowia" за 1927 р. [Karawajew, 1927*b*]. Для ознайомлення світової наукової спільноти із своїми дослідженнями, вчений більшість своїх робіт по мірмекології публікував на німецькій мові. В невеличкій передмові до статті відзначено, що дослідження в околицях станції і по Криму в цілому були проведені під час його перебування на станції в 1919–1920 рр. (не указав, що був на станції в 1921 р.). Відмітив, що перебував на станції в експедиціях — біля місяця літом 1923 р. і два тижні осінню 1924 р. Крім того, в роботі викладені дослідження, проведені з 28.08 1918 р. по 18.10. 1918 р. [ibid.: 295, 300, 301–302], що підтверджує факт перебування вченого на станції в 1918 р. Вчений підкреслив, що йому доводилося майже щодня долати по гірській місцевості 20–30 км [ibid.: 281]. Вище ми згадували такі маршрути. Вченого можна визнати за великого пішохіда, бо далеко не кожна людина здатна на такі навантаження, для цього треба мати покликання. На рис. 4 бачимо вченого під час відпочинку на маршруті.

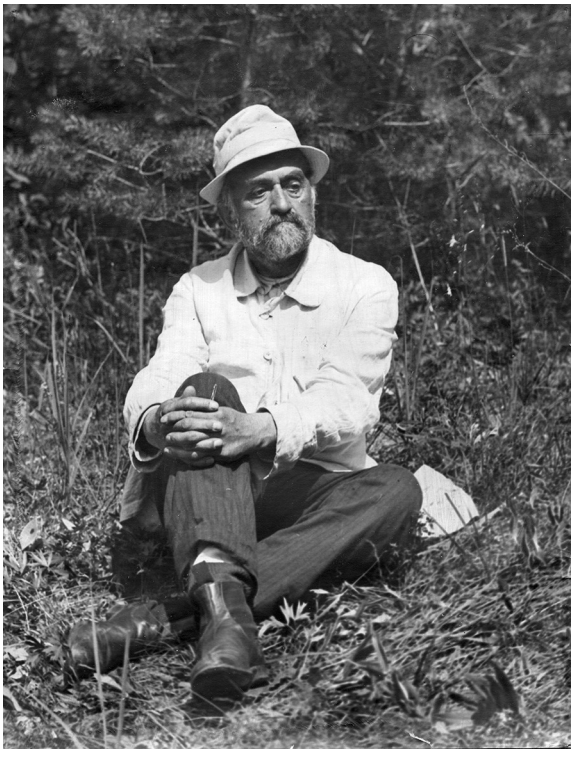


Рис. 4. Володимир Караваєв на зоологічному маршруті. Ймовірно 1920-ті рр. Фотоархів В. Ремінного.

Fig. 4. Volodymyr Karavaiev on a zoological excursion. Probably 1920s. Photo archive of V. Reminny.

Станція слугувала вченому базою, яку він тимчасово покидав для проведення досліджень в інших місцевостях: Кизилташу (біля Алушти), Учан-Су та лісництві (біля Ялти), Магарачі, Ай-Петрі. Найближчі околиці станції фігурували під назвою Карадаг, а віддалені представляли Отузи, Коктебель та поблизу нього бухта Єнишари. Додамо ще гору Агармиш, що поблизу містечка Старий Крим. Загалом, під Кримом вчений розумів ще й частину суші, що прилягала до півострова з півночі — тому враховував мурашок, зібраних в Асканії Нова.

Вчений слушно зауважив, що як із мірмекологічної точки зору, так і з загально-зоологічної, вивчено переважно південний схил гір (південний берег Криму), і висловив думку, що у міру розширення досліджень вчені знайдуть кілька нових форм мурашок. Зрештою, він це зробив і сам. Вчений вирішив з'ясувати, які форми мурашок, не вказані для Криму в монографії М. Д. Рузського [Ruzsky 1905], можуть бути там присутні. Він зазначив, що за М. Д. Рузським, для Криму кількість форм мурашок була 46, з них дві дуже сумнівні, отже лишилося 44 форми. В результаті досліджень на станції та в інших місцевостях Криму, ним

до списку додано 10 форм, з яких один підвид і два різновиди були новими для науки. До нових описів відносяться: 1) підвид *Cardiocondyla stambyloffi* For. subsp. *taurica* nova [Karawajew 1927*b*: 288–289], знайдений в бухті Єнишари біля Коктебелю в період 29.09. до 17.10.1919 р.; 2) різновид *Formica* (*Serviformica*) *cinerea* Mayr. var. *brevisitosa* nova, виявлений на Ай-Петрі; 3) різновид *Myrmica* (*Myrmica*) *lobicornis* Nyl. var. *plana* nova [ibid.: 283], виявлений у матеріалі, який передав у 1923 р. з Асканії-Нової зоолог Ф. Г. Добржанський. Тут і далі надаємо назви мурашок за В. О. Караваєвим. Таким чином, оновлений список мірмекофауни Криму складалався з 54 форм (якщо рахувати по тексту статті, то виходить 56 форм). Стаття, яку ми розглядаємо, не втратила свого значення і в наш час. Вчений був задоволений своїми дослідженнями на станції та в Криму, тому у статті побажав усім: «Нехай мій огляд спонукає до нових досліджень!» (переклад автора) [ibid.: 282].

Почнемо з 1918 р., з перших досліджень фауни мурашок на горі Агармиш. Дослідження відбулися, на наш погляд, завдяки експедиції, організованій О. Ф. Слудським для вивчення карстового колодязя на г. Агармиш 15.08.1918. Допускаємо, що В. О. Караваєв брав участь у роботі експедиції і скористався нагодою для проведення власних досліджень, зазначивши дату зборів мурашок за новим стилем — 28.08.1918 (хоча це може бути збігом). Він виявив різновиди чорної садової мурашки *Lasius* (*Lasius*) *niger* L. [ibid.: 300], червонощокої мурашки *Formica* (*Serviformica*) *rufibarbis* Fb. [ibid.: 393] та лугової мурашки *Formica* (*Formica*) *rufa* L. subsp. *pratensis* Retz. [ibid.: 302]. Останню було також виявлено в районі Отуз 2.05.1920 [ibid.], а червонощоку вчений згодом виявив і в усіх інших місцевостях, прилеглих до станції (Коктебель, бухта Єнишари, Карадаг).

Нас цікавить мірмекофауна околиць станції, що виявилась, як і слід було очікувати, різноманітною. В. О. Караваєв цінував, що зміг віднайти в бухті Єнишари новий підвид (*Cardiocondyla stambyloffi* For. subsp. *taurica* nova) про це він, зрозуміло, розповідав на станції, про це знав науковець станції В. М. Вучетич, який в 1927 році в листі до М. О. Волошина відмітив, що вчений надрукував в Німеччині статтю про фауну бухти Єнишари [Kupchenko 2007: 338]. Стаття нам невідома, можливо, мається на увазі детальний опис вищезгаданого підвиду [Karawajew 1927*b*: 288–289]. Крім того, в околицях станції вчений виявив чотири форми мурашок нових для Криму (всього таких форм для Криму, як зазначено вище, було 10):

1) *Myrmica (Myrmica) scabrinodis* Nyl. var. *sancta* Karav. (Знайдено 10.05.1920, Карадаг, гора Свята [ibid.: 285]).
2) *Bothriomyrmex meridionales* Rog. var. *communista* Sant. ([перший збір у 1919 р. (?)], потім 28.08.1924, Карадаг [ibid.: 293]).
3) *Camponotys (Tanaemyrmex) maculatus* F. subsp. *aethiops* Latr. var. *marginata* Latr. (26.11.1919, Карадаг [ibid.: 294]).
4) *Camponotys (Myrmentoma) lateralis* Ol. (06.04.1920, Карадаг [ibid.: 295]).

Відзначимо деякі факти про дослідження мурашки *Bothriomyrmex meridionales* Rog. var. *communista* Sant., яка вперше описана Ф. Санчі [Santschi 1920] на основі зборів В. О. Караваєва у Криму 1919 р. (можливо у 1918 р.) При цьому, місце збору і кількість описаних екземплярів не вказані [Radchenko 2016: 99]. Проте цю мурашку вчений зафіксував на Карадазі 28.08.1924 (двох робітників та двох самців), вказуючи на кілька колоній та її звичайність [Karawajew 1927*b*: 293], тому можна допустити, що і екземпляри, які вчений надіслав до Ф. Санчі для визначення, теж були зібрані в околицях станції. Нижче буде показано, що до вивчення цієї мурашки вчений знову повернеться під час свого перебування на станції восени 1926 р. Потрібно вказати, що вивчення цієї мурашки розпочате ще в 1903 р. за зборами О. О. Рязанцева в Магарачі (рис. 5). Докладні відомості щодо типового матеріалу з Магарачі викладено у праці О. Мартинова та О. Радченка [Martynov & Radchenko 2016].

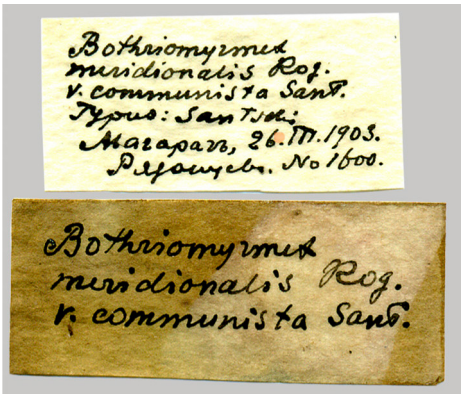


Рис. 5. Оригінальна етикетка типового матеріалу, за: [Martynov & Radchenko 2016: 245, fig. 2].

Fig. 5. Original label of the type material, after: [Martynov & Radchenko 2016: 245, fig. 2].

Наведемо приклад, коли в дослідницький роботі вченого «випадково» виявилися нові, раніше невідомі відомості про мурашок. Так, у червні 1923 р. в околицях станції він, поза мурашиним гніздом, зібрав значну кількість самців *Myrmecocystus cyrsor aenenscens*, яких раніше не вдавалося зібрати в жодній місцевості, зокрема і в околицях с. Мурзинці, де ця мурашка дуже розповсюджена. Виявилося, що самці виходять з гнізда в пізні післяполудневі часи, на що в науковій літературі вказівки не було. Таким чином, В. О. Караваєв першим дослідив таку особливість підвиду *aenenscens*, про що з подробицями описав у статті «До систематики палеарктичних *Myrmecocystus* (Formicidae) разом з деякими біологічними замітками», яку було надруковано 1924 р. в австрійському ентомологічному журналі «Konowia» [Karawajew 1924]. Він зазначив, що 25 червня 1923 р. на екскурсії в околицях Карадагу біля 16 год. багато разів бачив, як мурашки виповзали з отвору гнізда і розпочинали свій шлюбний політ, вірніше шлюбний забіг: вони бігли в одному й тому самому напрямку або летіли низько над землею та приземлювалися ненадовго на траву. Мурашки, як відмітив вчений, були занепокоєні та схвильовані його колекціонуванням. На жаль, крилатих самок ні в цей день, ні в кілька наступних побачити не довелося [ibid.: 302].

Вчений зазначив, що в липні 1922 р. у значній кількості зібрав вже опірених самок в батьківському гнізді та при заснуванні нової колонії в Асканії Нова. Оскільки він розглядав Крим та прилеглу до нього територію з півночі як єдине ціле, то цілком слушно допускав, що зібрані в Асканії Нова мурашки *cursor* належать до тієї ж форми, що і зібрані на Карадазі екземляри самців, яких вчений вважав типовим підвидом *aenescens*. Він додає, що в нього є ще екземпляри вищевказаних мурашок (робітники) зі Звенигородського повіту Київської губернії, Північного Кавказу, багатьох пунктів Закавказзя. Однак не можна було стверджувати, що робітники, зібрані без самців, належать до типових *aenescens* [ibid.: 302, 303]. На цьому прикладі бачимо кропіткі пошуки у складному процесі систематизації відомостей про мурашок.

Крім мурашок, вченого цікавили також богомоли, яких він досліджував в околицях станції в 1920 р. Це були представники родини Mantidae: *Mantis religiosa* L. та *Parameles taurica* Jakovl. Вони належать до південних представників прямокрилих (Ortopthera). Приблизно в 1912 р. поодинокі знахідки цих двох видів були зроблені в околицях села Мурзинці Звенигородського повіту Київської губернії. При цьому, *Mantis religiosa* L. не фіксувався для Київської губернії, а *Parameles taurica* Jakovl. ніколи не знаходили за межами Криму. Разом з тим, в околицях станції обидва види восени можна було збирати сотнями [Karawajew 1925*a*: 329–331]. В даному випадку бачимо, що вченого цікавив ареал розповсюдження вищезгаданих представників родини Mantidae.

Наведені вище приклади є одними з багатьох, які характеризують не тільки прискіпливу, педантичну, сумлінну працю вченого, а, головним чином, його вміння бачити в об'єктах свого дослідження те, чого могли не побачити інші дослідники. Так було не тільки в Криму, а й в Київській губернії, в Асканії Нова, на тропічних островах при дослідженні екзотичних мурашок, в багатьох інших місцях, де вчений проводив свої дослідження: «[…] Володимир Опанасович зумів знайти і побачити те, чого не бачили сотні зоологів, які бували в тих самих місцях» [Paramonov 1941: 3].

Наголосимо, що після 1921 р., вчений знову приїхав на станцію в червні 1923 р. та восени 1924 р. Деякі результати досліджень викладені вище. Доцільно додати, що В. О. Караваєв

рекомендував молодому зоологу, працівнику зоологічного музею ВУАН С. Я. Парамонову з науковою ціллю відвідати Карадаг, що той і зробив, побувавши там в червні 1923 р. У матеріалах АМТДП зберігся короткий звіт завідуючого станцією О. Ф. Слудського: «… С. Я. Парамонов занимался на Карадаге фаунистическим сбором Diptera, преимущественно серии Bombiliidae, мало пока изученной, особенно в биологическом отношении». Дослідження родини Bombiliidae С. Я. Парамонов буде проводити у 1925, 1929 та 1930 роках. Карадаг стане улюбленим, творчим місцем в житті всесвітньовідомого вченого, а розповідь про це заслуговує на окрему статтю. Також відмітемо, що С. Я. Парамонов є автором видатної праці — «Хемогенез — новая теория эволюции», опублікованої дослідником наукової спадщини вченого А. І. Шаповалом [Shapoval 2016: 161–227], над проблематикою якої, сучасні біологи, на жаль, ще не готові працювати. Докладно про життя та діяльність С. Я. Парамонова викладено у працях В. О. Корнєєва [Korneev 2014] та А. І. Шаповала [Shapoval 2016].

2.2. Період 1925–1926 років

Маємо короткі відомості про перебування В. О. Караваєва на станції в 1925 р. у звідомленні Української академії наук за 1925 рік: «В серпні був командирований на південний берег Криму. На Карадазькій науковій станції та в околицях Ялти збирав мурашок та проводив біологічні спостереження над ними. Крім того, збирав для Музею инших комах та деяких тварин» [Shmelev 1998: 179]. Разом з В. О. Караваєвим на станцію приїхав також С. Я. Парамонов та постійний нештатний співробітник О. Б. Кістяківський. Вони зібрали «…коло трьох тисяч комах, м'якунів, кілька десятків пташачих шкурок тощо». Досліджуючи двокрильців, С. Я. Парамонов знайшов «два нові види *Platypygus tauricus* та *Villa karadaghica*» [ibid.: 180]. Це значний успіх вченого, який присвятив свою наукову діяльність вивченню мух-бринівок (*Bombyliidae)* та деяких інших двокрилих комах.

Під час свого перебування на станції восени 1926 р. В. О. Караваєв знову, як і в попередні роки, вивчав біологічні особливості мурашки *Bothriomyrmex meridionalis* Rog. var. *communista* Santshi. Він знайшов екземпляри з латеральним гермафродитизмом, про що, вже в 1927 р. на німецькій мові, була опублікована невеличка цікава стаття [Karawajew 1927*a*]. Про інші особливості цієї мурашки пише і у звіті про свою роботу на станції. Машинописний варіант звіту зберігся в матеріалах АМТДП. Оскільки нам не вдалося розшукати в публікаціях вченого відомостей про знайдені ним екземпляри фізогастричної цариці цієї мурашки, а також з огляду на наукове значення досліджень, приводимо текст в редакції вченого і з відповідною термінологічною заміною мурашок, позначених значками:

«Занимался на Карадагской научной станции с 16.VIII. по 24.IX.1926 г. При чем в этот промежуток времени совершил также 10-дневную экскурсию из Ялты на Ай-Петри и заповедник при Козьмо-Демьяновском монастыре. Основной задачей моей, как на Карадагской научной станции, так и во время упомянутой экскурсии, было дополнить насколько возможно, свои исследования мирмекофауны Крыма, которыми я занимаюсь уже в течение нескольких лет и затем собрать зоологические коллекции для Зоологического музея Украинской академии наук, коего я состою заведующим. Что касается первой из названных задач, то мне удалось собрать крылатых (двух самок и двух самцов) некоторых форм, отсутствовавших в моей коллекции. Из первых особенно интересны 2 экземпляра физогастрической царицы *Bothriomyrmex meridionalis* var. *communista* Sant. и 1 экземпляр царицы, представляющей переход от физогастрической к нормальной (неоплодотворенной) самки. Крылатые формы (я собрал также двух самцов) для названной, эндемичной для Крыма, разновидности еще не описаны. Далее, в заповеднике около Козьмо-Демьяновского монастыря, я нашел двух рабочих *Myrmica ruginadis*, представляющих некоторые отклонения от типа и, возможно, относящихся к новой разновидности.
Для Зоологического музея Украинской академии наук я собрал несколько представителей лягушек и летучих мышей, главным же образом насекомых различных отрядов, именно: Odonata 4, Orthoptera 171, Hemiptera 124, Hymenoptera 358, Diptera 140, Coleoxotera 68, Lepidoptera 125, всего 990 экз.».

Під цим звітом вчений поставив дату — 24.IX.1926 та зазначив місце написання звіту — Карадаг. У минулому, при написанні статей в своєму маєтку вчений вказував с. Мурзинці. В цей час маєтку вченого вже не існувало…

Дослідження в околицях станції, та в цілому в Криму, були використані В. О. Караваєвим в монографії про мурашок України [Karawajew 1934, 1936]. Відомий вітчизняний мірмеколог О. Г. Радченко характеризує цю монографію як одну з кращих на той час в світовій мірмекологічній літературі та підкреслює, що наукове надбання вченого виходить далеко за рамки вивчення мурашок України [Radchenko 2016: 12]. Досліджувані В. О. Караваєвим в околицях станції мурашки *Plagiolepis tauricus* віднесені О. Г. Радченко до окремого виду — *Plagiolepis karawajewi* Radchenko, 1989 [Radchenko, 1989: 154; Radchenko 2016: 342–343].

У 1927 р. завідуючий станції О. Ф. Слудський змушений був залишити її та переїхати із сім'єю в Феодосію на нове місце роботи. Мотиви були досить прозаїчні — не влаштовував керівництво МТДП. Після плідних в науковому відношенні «років Слудського» (1914–1927) станція поступово стала втрачати свої наукові позиції.

Заключення

Хвилі революційних руйнувань знищили маєток вченого в селі Мурзинці, позбавили його будинку по вулиці Пирогівській 1 в Києві, знищили ентомологічну лабораторію, частина книжок з його бібліотеки була розкрадена, дивом вцілів рукопис про підродину Ponerinae. Історія цього рукопису, що проходить крізь статтю, показує мужність, витримку вченого, який зміг вистояти під натиском руйнівних подій 1917–1921 рр. Запорукою стійкості була головна справа його життя — бажання вивчати мурашок всього світу. Вчений не міг дозволити собі втратити наукових досягнень, які вже в 1913 р. видвинули його в число одного з найкращих мірмекологів у світі. Історія рукопису являє собою своєрідний літопис, в якому відображені не тільки події минулого, а й наступних часів.

В 1926 р. вчений відзначив, що «працює над систематикою й біологією мурашок (род. Formicidae) всього світу, а також вивчає мірмекофілів» [Karawajew 1926*c*: 24]. Щоб цього досягти, крім різних наукових подорожей, повинні були бути спокійні наукові зупинки в Мурзинцях, на Карадазі, в зоологічному музеї в Києві. Ці місця тісно пов'язані між собою в поступовому примноженні вченим наукових знань. Проте, наукові дослідження В. О. Караваєва на станції, на наш погляд, займають особливе місце у вище приведеній тріаді, бо на станції були врятовані тропічні збори (основа його майбутньої наукової творчості) і це головне значення станції в його житті. В будинку станції закріплена ідея її засновника Т. І. Вяземскького про царство науки на Карадазі. Цієї ідеї підтримувався і перший завідуючий станції О. Ф. Слудський. В цю ідею вірив і В. О. Караваєв — недарма хотів оселитися на станції та заснувати власну ентомологічну лабораторію.

До кінця свого життя В. О. Караваєв працював науковцем в Зоологічному музеї ВУАН, і у 1926–1934 рр. був його директором.

Видатний зоолог Б. І. Балинський, який особисто знав вченого, згадував, що в тропіках той так багато зібрав екземплярів мурашок, що працював з цими зборами залишок свого життя [Balinsky 2009: 110]. Вчений, за свідченням Б. І. Балінського, жив зі своєю дружиною на території («садибі») Зоологічного музею [ibid]. Він був зовсім віддалений від усякої політики, однак комуністи не змогли простити йому те, що він був багатою людиною і поміщиком, що час від часу тягло за собою певні проблеми, коли загальна атмосфера у суспільстві гарячилася [ibid.].

Наведемо один із прикладів виникнення проблем у сім'ї вченого на фоні тогочасних соціальних збурень, зокрема й у ВУАН. У 1930 р., 6 серпня, на засіданні комісії по чистці апарату ВУАН, була розглянута справа дружини вченого — Н. М. Караваєвої: її звинуватили в тому, що в минулому приховала свій соціальний стан колишньої поміщиці. Комісія відмітила, що

в неї був маєток у Звенигородському повіті розміром 600–700 десятин, в Києві було три будинки, що оцінили відповідно в 17, 51 та 40 тисяч карбованців. Дізнаємося, що під час революції садибу знесли селяни. В результаті «чистки» Н. М. Караваєвій заборонили «…займати будь-які посади в радянському кооперативному та громадському апараті». При цьому було вказано, що чоловік є керівником зоологічного музею [Sokhan 1998: 102]. Таке рішення виглядає великою ласкою від радянської влади, в порівнянні з тим, що бувших поміщиків залюбки відправляли в табори. Можливо, рішення приймали з огляду на наукові заслуги В. О. Каравєва, на те, що він був відомий далеко за межами України. Скоріше всього, вищезгадана садиба та будинки в Києві були у власності В. О. Караваєва. Проте, необхідні додаткові дослідження цього питання. Важливо зазначити, що поміщицьке минуле не дозволило В. О. Каравєву зайняти належне місце на п'єдесталі радянської науки, через що він довгий час був відомим лише невеликому колу вітчизняних спеціалістів-мірмекологів. Разом з тим, вчений добре був відомий західним вченим, завдяки своїм чисельним публікаціям в європейських журналах на німецькій мові. Праці В. О. Карваєва не втратили свого значення в сучасній науці і цитуються вченими всього світу.

Ще зберігаються книги приватної бібліотеки: частина у загальному фонді бібліотеки Інституту зоології імені І. І. Шмальгаузена Національної академії наук України, а частина у загальному фонді бібліотеки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Кожна книжка багато може розповісти про свого власника. Наприклад, привертає увагу окремо видана книга в оправі з коричневої шкіри з золотим тисненням на верхній кришки з зазначенням автора книги та перекладача. Це перший переклад на російську мову праці видатного німецького вченого і разом з тим члена єзуїтського ордену Еріха Васманна: «Итоги сравнительной психологии»[1] (зберігається в бібліотеці Інституту зоології). У передмові В. О. Караваєв зазначив, що не розраховував на утруднення у друкуванні книги з боку видавця. Проте він помилився — видавцеві не сподобалася суміш науки та теології. Тому, В. О. Караваєв вирішив видати книгу самостійно (на власні кошти), оскільки вважав, що нетерпимість до дуалістичного світогляду не має стати перепоною для видавництва книги.

Вченим зібрана величезна колекція всесвітньої фауни мурашок, яка налічує 178 видів та підвидів мурашок [Kostuk 1976: 91].

Враховуючи значний внесок В. О. Караваєва у розвиток вітчизняної науки, а заголом і світової, доцільно було би створити меморіальну бібліотеку вченого та меморіальну колекцію всесвітньої фауни мурашок в якості національного надбання.

Штрихи до портрета

Ми лише приблизно охарактеризували портрет видатного вченого на фоні революційних руйнувань. Підсилимо вже існуюче та додамо нові штрихи, виявлені під час роботи з літературними джерелами, які можуть бути докладніше розглянуті в майбутньому.

Наголосимо, що станція опинилася в центрі подій, що охопили життя вченого в період 1913–1923 рр. Своєрідним джерелом деяких епізодів цього періоду стали передмови до статей по мурашкам підродини Ponerinae [Karawajew 1925*b*: 69–71, 1926*a*: 413–414] та мірмекофауні Криму [Karawajew 1927*b*: 281–282]. За змістом, всі передмови багато в чому подібні між собою і написані для того, щоб пояснити редакціям журналів причини, які завадили вчасно підготувати публікації до друку. Передмови (в усіх згадана станція), разом з долученням додаткових даних, було використано як основу для об'єднання всього матеріалу в єдине ціле. Публікації вийшли за кордоном і сприяли примноженню наукового авторитету станції, як установи, де, незважаючі на революційні руйнування, проводилися дослідження високого рівня.

[1] Повна назва: «Итоги сравнительной психологии. Ч. I. Инстинкт и разумность в царстве животных. Ч. II. Сравнительные исследования душевной жизни муравьев и высших животных. Пер. с нем. В. Караваева. Типогр. имп. ун-та св. Владимира, Киев, 1906. I–XVII, 1–525.».

У скрутній, жахливій ситуації революційних подій, як і В. О. Караваєв, опинилися інші українські вчені, які не сприймали більшовицьку владу і вимушені були мігрувати подалі від неї. Згодом вони вирішили повернутися в нові реалії заради продовження наукових досліджень. В цьому відношенні показова деяльність в Україні першого президента УАН академіка В. І. Вернадського (вчений познайомився з ним у 1917 р.). Деякі епізоди, пов'язані з В. О. Караваєвим, висвітлені у статті.

Наукові статті, присвячені вивченню мурашок всього світу опубліковані, переважно, на німецькій мові і більша їх частина вийшла за кордоном. Коли зібрати відповідні публікації, то вийде одна цілісна головна праця всього життя вченого — «Мурашки всього світу» (назва умовна). Допукаємо, що про наукове оформлення цієї праці мріяв вчений, але не встиг цього зробити.

У майже кожній науковій праці знаходимо нові наукові дані, цікаві відомості не тільки в питаннях мірмекології та мірмекофілії, а й в інших зоологічних дослідженнях. Вченому не цікаво було повторювати те, що вже було сказано іншими. Відмітимо, що публікації, написані українською мовою, характеризують вченого як бездоганного знавця цієї мови.

Вчений контактував з відповідним колом видатних зарубіжних ентомологів, серед яких, зокрема, були Е. Васманн та А. Берлезе: з обома він зустрічався та добре їх знав. Контакти сприяли взаємному науковому росту.

Приділяв багато уваги вивченню мурашок України. Так, в суміжних місцевостях були відомі форми мурашок, яких вчений не зміг виявити в Україні, але з часом, за прогнозом вченого, могли бути виявлені. Ці невиявлені форми, по тексту монографії [Karawajew 1934, 1936], було взято у дужки. Загалом, критично підходив до досліджень мурашок своєї країни, вважаючи їх недосконалими.

Станція — це в першу чергу люди: завідуючий О. Ф. Слудський, помічник завідуючого В. М. Вучетич, інші працівники станції, які невпинно працювали та зберігали станцію в складних політичних умовах в період 1917–1922 рр. Разом з ними В. О. Караваєв постійно працював з листопада 1919 р. до другої половини травня 1921 р. (також короткі періоди був на станції в 1917–1919 рр). Всі вони, незважаючи на тяжке матеріальне становище, на різні політичні сили, що приходили до влади в Криму, своєю науковою діяльністю довели важливе суспільне значення станції як наукового осередка з незламною науковою основою. Для продовження вивчення мірмекофауни Криму вчений приїжджав працювати на станцію вже як науковець зоологічного музею ВУАН на протязі 1923-1926 рр. Він відкрив Карадаг молодому ентомологу (майбутньому всесвітньовідомому вченому) С. Я. Парамонову, про якого ми згадали, щоб підкреслити привабливість станції для науковців.

Висновки

1. У буремні часи революційних руйнувань В. О. Караваєв невпинно працював над всебічним вивченням мурашок всього світу — на станції в Криму та в зоологічному музеї УАН в Києві. У ці ж часи в Києві в УАН, а потім в Таврійському університеті в Сімферополі, академік В. І. Вернадський теж невпинно працював над вивченням «живої речовини». Зазначені дослідження були головною справою життя вчених і в проблематиці цих досліджень обидва мислили глобально.

2. Вчені переймалися збереженням своїх рукописів, доля яких виявилася складною (доля рукопису В. І. Вернадського по «живій речовині» в статті не відображена). Втім, рукописи були опубліковані (київський рукопис В. І. Вернадського було опубліковано лише в 1988 р.), а подальші наукові дослідження знайшли належне місце в світовій науці та продовжують бути актуальними. Матеріальні цінності теж зазнали метаморфозу — маєтки обох вчених (маєток В. І. Вернадського був на Полтавщині) були знищені хвилями революційних руйнувань і перетворилися у кучугури, розвіяні вітром.

3. Вчений започаткував академічне вивчення мірмекології України, як складової частини світової мірмекології, у дослідження якої вніс значний внесок. Крім того, був першим в Україні дослідником мірмекофілів.

4. Працюючи на станції, вчений використав порівняльно-морфологічний метод у дослідженні мірмекофауни, долучивши результати попередніх досліджень у Київській губернії, в південній Європі, в північній Африці, що дозволило виявити 10 нових форм мурашок, раніше невідомих для Криму. Крім того, виявлено біорізноманіття мірмекофауни Карадагу. Застосування порівняльно-морфологічного методу в різних куточках світу, де працював вчений (також при вивченні колекцій), дозволило йому виявити біля 200 нових видів світової мірмекофауни!

5. Вирішальну роль у формуванні наукового глобального мислення і як результат — значних наукових досягнень, відіграли дві омріяні подорожі у тропіки. Не менш важливу роль мали книжки власної наукової бібліотеки і взагалі книга, як «продовження пам'яті та уявлення» (слова аргентинського письменника та мислителя Х. Л. Борхеса).

6. Наявність достатків, індивідуалістичний підхід до проведення досліджень та потяг до мандрування (через це ми назвали вченого великим пішохідом), сприяли тому, що вчений зміг власними зусиллями працювати з величезним матеріалом по вітчизняній та світовій мірмекофауні (по нашим приблизним підрахункам для нього збирали мурашок максимум до 10 натуралістів). Науковій творчості В. О. Караваєва притаманні два взаємопов'язані аспекти: інтелектуальний та матеріальний.

P. S. *Мрія юності привела вченого у тропіки взимку 1898 р., а потім — взимку 1912–1913 рр. Ця сама мрія відкривала йому горизонти науки в наступних дослідженнях. На рис. 6 зображений тропічний ліс на острові Ява, яким його побачив В. О. Караваєв у 1898 році — одна з важливих точок його наукових мандрів.*

Рис. 6. Тропічний ліс на острові Ява. Фотографія В. Караваєва, 1898 р. Фотоархів В. Ремінного.

Fig. 6. Tropical forest on the island of Java. Photo of V. Karavaiev, 1898. Photo archive of V. Reminny.

Подяки

Автор вдячний І. В. Загороднюку за цінні поради та сприяння у підготовці рукопису, також рецензентам за критичні зауваження, які з вдячністю були враховані. Дякую завідувачці наукової бібліотеки Інституту зоології НАН України Л. М. Ластіковій та бібліографкам В. О. Константіновій і Г. В. Журавель за допомогу у роботі з літературою за темою статті та працями В. О. Караваєва. Висловлюю вдячність В. Ю. Ремінному за надані фотографії з особистого фотоархіву, що доповнили зміст статті. Вдячний О. В. Мартинову та О. Г. Радченку за дозвіл щодо використання одного з рисунків з їхньої статті. Окрема, щира подяка нащадкам О. Ф. Слудського за надану можливість працювати з матеріалами особистого архіву вченого, також всім працівникам вищезгадних архівів, високий професіоналізм яких допомогав у пошуках необхідних матеріалів.

Дослідження виконано за власної ініціативи і за власні кошти.

References

Balinsky, B. 2009. *Memoris.* Ed. by Fern van Pol. Global Print for pablising, [2]: 1–340.

Charlemagne, M. V. 1935. 15 years of work of the Zoological Museum of the UAS. *Visti Ukrainskoi Akademii Nauk*, **1**: 22–38. [In Ukrainian]

Karawajew, W. A. 1900. *A Trip to the Island of Java (Impressions of a Naturalist).* Printing house of the Imperial University of St. Vladimir, Kyiv, I–III, 1–166. [In Russian]
Karawajew, W. A. 1901. Preliminary report on the trip to Java Island. *Notes of the Kyiv Society of Naturalists* (Minutes of the Fourth Ordinary Meeting of the Kyiv Society of Naturalists, 30 October 1899), **17**: VII–XVII. [In Russian]
Karawajew, W. A. 1903*a*. On observations of ants in artificial nests made of plaster. *Russian Entomological Review*, **3**–**4**: 94–98. [In Russian]
Karawajew, W. A. 1903*b*. Observations on ants. Two reports to the Kyiv Society of Naturalists. *Notes of the Kyiv Society of Naturalists*, **18**: 1–14. [In Russian]
Karawajew, W. 1904. Antennophorus Uhlmanni Hall. Und seine biologische Beziehungen zu Lasius fuliginosus und anderen Ameisen. *Notes of the Kyiv Society of Naturalists*, **19**: 193–241. [In Russian]
Karawajew, W. 1905. Versuche über die internationalen Beziehungen einiger Antennoforus-Arten nebst einigen systematishen Bemerkungen. *Zeitschrift für wissenschaftliche Insektenbiologie*, **1** (12): 485–493.
Karawajew, W. 1906. Weitere Beobachtungen über Arten der Gattung Antennophorus. *Notes of the Kyiv Society of Naturalists*, **20**: 209–230. [In Russian]
Karawajew, W. 1909. Ameisen aus Transkaspien und Turkestan. *Horae Societatis Entomologicae Rossicae*, **39**: 1–72.
Karawajew, W. 1911. Ameisen aus Aegypten und dem Sudan. *Russian Entomological Review*, **11**: 1–12.
Karawajew, W. 1912. Ameisen aus Tunesien und Algerien, nebst einigen unterwegs in Italien gesamelten Arten. *Russian Entomological Review*, **12**: 1–22.
Karawajew, W. A. 1913. Around the islands of the Malay Archipelago, Molluk and Aru with myrmecological purpose. General impressions and observations of a naturalist. *Proceedings of the Russian Geographical Society*, **19**: 395– 522. [In Russian]
Karawajew, W. 1914. Eine neue Weberameise Polyrhachis armata le Güll. *Biol. Centraldl.,* **34**: 440–444.
Karawajew, W. A. 1916. On the islands of the Malay Archipelago, Molluk and Aru. *Priroda*, July-August, 875–886, 1041–1054. [In Russian]
Karawajew, W. 1924. Zur Systematic der paläarktischen Myrmecocystus, nebst einigen biologischen Notizen. *Konowia*, **3**: 301–308.
Karawajew, V. A. 1925*a*. A note on the finding of two members of the family Mantidae in Kyiv Province. *Yearbook of the Zoological Museum of the USSR Academy of Sciences*, (1925): 329–332. [In Russian]
Karawajew, W. 1925*b*. *Ponerinen (Fam. Formicidae)* aus dem IndoAustralischen Gebiet. *Konowia*, **4** (1–2): 69–81.
Karawajew, W. 1925*c*. *Ponerinen (Fam. Formicidae)* aus dem IndoAustralischen Gebiet. *Konowia*, **4** (3–4): 115–131.
Karawajew, W. 1925*d*. *Ponerinen (Fam. Formicidae)* aus dem IndoAustralischen Gebiet. *Konowia*, **4** (5): 276–296.
Karawajew, W. 1926*a*. Ameisen aus dem IndoAustralischen Gebiet. *Treubia*, **8** (3–4): 413–445.
Karawajew, W 1926*b*. Myrmecologische Fragmente. *Collection of works of the Zoological Museum*, **1**: 47–51.
Karawajew, V. O. 1926*c*. A brief outline of the development and current state of the UAS Zoological Museum. *Collection of works of the Zoological Museum*, **1** (1): 21–29. [In Ukrainian]
Karawajew, W. 1927*a*. Ein Fall von lateralem Hermaphroditismus bei ameisen und Fall defekter Körperbildung. *Folia Myrmecologica et Termitologica*, **4**–**5**: 45–47.
Karawajew, W. O. 1927*b*. Übersicht der Ameisenfauna der Krim nebst einigen Neubeschreibungen, **5** (4): 281–303.
Karawajew, W. O. 1934. *Fauna of the family Formicidae (Ants) of Ukraine. Part I.* VUAN, Kyiv, 1–164. [In Ukrainian]
Karawajew, W. O. 1936. *Fauna of the family Formicidae (Ants) of Ukraine. Part II (Conclusion).* VUAN, Kyiv, 165–316. [In Ukrainian]
Konotopets, N. I. 1980. Mykola Kashchenko. A biographical story. Youth, Kyiv, 1–232. (Series of biographical works 'Famous Names'; Issue 42). [In Ukrainian]
Korman, M. M. 2008. *V. O. Karawajew: Life and Work.* Dzhura, Ternopil, 1–224. [In Ukrainian]
Korneev, V. O. 2014. Real life of Sergei Lesnoy (materials for the biography of Sergei Yakovlevich Paramonov. *Ukrainian Entomofaunistics*, **5** (1): 6–36. https://sites.google.com/site/ukren fau/ [In Ukrainian]
Kostyuk, Yu. A. 1976. Catalogue of types of ants (Hymenoptera, Formicidae) of the collection of V. A. Karavaiev, stored in the Institute of Zoology, Academy of Sciences of the Ukrainian SSR (part 1). *Proceedings of the Zoological Museum*, **36**: 91–106. [In Russian]
Kupchenko, V. P. 2007. *The labours and days of Maximilian Voloshin. A Chronicle of Life and Creation. 1917–1932.* Aletheia, St. Petersburg, Sonat, Simferopol, 1–608. [In Russian]
Martynov, A. V., A. G. Radchenko. 2016. Karawajew's ant type specimens (Hymenoptera, Formicidae) in the National Myseum of Natural History of the National Academy of Science of Ukraine. *Zootaxa*, **4097** (2): 244–254. https://doi.org/10.11646/zootaxa.4097.2.6
Meduschevkaya, O. M. 1976. *Theoretical Problems of Source Studies. Textbook.* A. T. Nikolaeva (responsible editor). Moscow, 1–86. [In Russian]
Mikhalenok, D. K. 1997. Towards the 80th anniversary of the Karadag research station named after T. I. Viazemsky. *Proceedings of the Karadag branch of the A.O. Kovalevsky Institute of Biology of Southern Seas, National Academy of Sciences of Ukraine*, 134–144.
Mikhalenok, D. K. 1999. Light of Science: 85 years of the T. I. Viazemsky Karadag Scientific Station. *In: Karadag Kaleidoscope. Kaleidoscope of Literature, Science, Art. Version 1.* D. K. Mikhalenok (compiler). Tavria, Simferopol, 19–42. [In Russian]

Mikhalenok, D. K., V. Y. Lapchenko. 2008. Library of M. D. T. I. Viazemsky. *In:* Fomenko, I. Y. (ed.). *Catalogue of old printed editions. Russian Civil Press Books (1760–1825) from the Library of T. I. Vyazemsky*. D. K. Mikhalenok [et al.] (compiler). ECOSY-Hydrophysics, Sevastopol, 8–83. [In Russian]
Mikhalenok, D. K. 2013. To the history of the Karadag research station named after T. I. Vyazemsky (on the materials of the RAS archive). *In:* Afiniani, V. U. (ed.). *Fundamental Science: Problems of Study, Preservation and Restoration of Documentary Heritage: Proceedings of the International Scientific Conference*. Moscow, 403–409. [In Russian]
Onyshchenko, O. S. (ed.). 2011*a*. *Volodymyr Ivanovych Vernadsky. Diaries (1917–1921).* National Vernadsky Library of Ukraine, Kyiv, 1–660. [In Ukrainian]
Onyshchenko, O. S. (ed.). 2011*b*. *Volodymyr Ivanovych Vernadsky in Ukraine. Volume 1 (Book 1). Scientific and organisational activities (1918–1921).* National Vernadsky Library of Ukraine, Kyiv, 1–699. [In Ukrainian]
Onyshchenko, O. S. (ed.). 2011*c*. *Volodymyr Ivanovych Vernadsky in Ukraine. Volume 1 (Book 2). Selected works.* National Vernadsky Library of Ukraine, Kyiv, 1–584. [In Ukrainian]
Onyshchenko, O. S. (ed.). 2012. *Volodymyr Ivanovych Vernadsky. Volume 1. Correspondence with Ukrainian scientists. Correspondence: A-G.* National Vernadsky Library of Ukraine, Kyiv, 1–742. [In Ukrainian]
Paramonov, S. Y. 1941. V. O. Karavaiev. 9.III 1864 – 7. I 1939. *Collection of works of the Zoological Museum*, **24**: 3–8. [In Ukrainian]
Pidoplichko, I. G., M. M. Shcherbak. 1969. Fifty years of the Zoological Museum of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. *Collection of works of the Zoological Museum*, **33**: 3–10. [In Ukrainian]
Pohrebnyak, S., E. Pysanets, V. Manilo. 2010. Shcherbak Zoological Museum. Past and present. *Svitohliad*, **4**: 39–45. [In Ukrainian]
Radchenko, A. G. 1989. Ants of the genus Plagiolepis Mayr of the European part of the USSR. *Vestnik zoologii*, **9**: 153–156. [In Russian]
Radchenko, A. G. 2016. *Ants (Hymenoptera, Formicidae) of Ukraine.* Veles, Kyiv, 1–496. [In Russian]
Ruzsky, M. D. 1905. Ants of Russia. *Proceedings of the Society of Naturalists at the Imperial Kazan University*, **38** (4–6): 1–800. [In Russian]
Santschi, F. 1920. Fourmis du genre Bothriomyrmex Emery (Systématique et moeurs). *Revue zoologique africaine,* **7**: 201–224. https://doi.org/10.5962/bhl.part.15117
Sidyakin, V. G. (ed.). 1993. *Essays on the History of Simferopol State University (1918–1993).* Tavrida, Simferopol, 1–415. [In Russian]
Shapoval, A. I. 2016. *S. Y. Paramonov's papers in the collections of National Vernadsky Library of Ukraine: Source research: a scientific catalogue.* L. M. Yaremenko (ed.). Kyiv, 1–352. [In Ukrainian]
Shmelev, V. G. [et al.] (compl.). 1993. *History of the Academy of Sciences of Ukraine (1918–1923): Documents and materials.* Edited by P. S. Sokhan. Naukova Dumka, Kyiv, 1–576. [In Ukrainian]
Shmelev, V. G. [et al.] (compl.). 1998. *History of the Academy of Sciences of Ukraine (1924–1928): Documents and materials*. National Vernadsky Library of Ukraine, Kyiv, 1–764. [In Ukrainian]
Sludsky, A. F. 1917. Terenty Ivanovich Vyazemsky as the founder of the Karadag Scientific Station. *Proceedings of the Karadag Scientific Station named after T. I. Vyazemsky.* Printing house of the Ryabushinsky Association, Moscow, **1**: 7–11. [In Russian]
Sludsky, E. F. 2004–2005. *Karadag. Memoirs (1917–1926).* Sonat, Simferopol, 1–112. [In Russian]
Sohan, P. S. (ed.). 1998. *History of the National Academy of Sciences of Ukraine (1929–1933): Documents and materials.* Ed. T.V. Veresovska [et al.]. Ukrainian Book, Kyiv, 1–544. [In Ukrainian]
Ulyanovskiy, V. I. 2015. *Charlemagne N. V. Nature and People of Kievan Rus'. Memories. Autobiography. Correspondence.* Antiquary, Kyiv, 1–1132. [In Russian]
Vernadsky, V. I. 1912. *From the History of Ideas.* Typography of Kushnerev and K°, Moscow, 1–12. [In Russian]
Vinogradov, Y. A., Z. N. Nagorova. 1960. *Methodological Guide to the Scientific and Technical Processing of Scientists' Funds at the Archive of the Academy of Sciences of the USSR.* Moscow, Leningrad, 1–217. [In Russian]
Vodyanitsky, V.A. 1948. Seventy-five years of the Sevastopol Biological Station. *Proceedings of the Sevastopol Biological Station*, **6**: 3–38. [In Russian]
Volkov, V. P. (ed.). 2005. *Vernadsky V.I. Diaries. 1935–1941 (in 2 books). Book 2 (1939–1941).* Nauka, Moscow, 1–295. [In Russian]
Zagorodniuk, I. 2015. States of formation and dating the earliest history of the National Museum of Natural History of Ukraine. *In: Natural History Museums: Role in Education and Science* (Proceedings of the IV International Scientific Conference). Natural Museum of Natural History, NAS of Ukraine. Ed. by I. Zagorodniuk. Kyiv, 161–164. [In Ukrainian]
Zagorodniuk, I. 2019. The beginnigs of academic zoology in Ukraine: documents of the Ukrainian Scientific Society 1919–1921. *Natural History Museums in Ukraine: Formation and Prospects for Development.* Ed. by I. Zagorodniuk. NAS of Ukraine; National Museum of Natural History. Kyiv, 296–306. [In Ukrainian]
Zarubin, A. G., V. G. Zarubin. 2008. *Without Winners. From the History of the Civil War in the Crimea.* AntikvA, Simferopol, 1–726. [In Russian]

GEO&BIO

2023 • vol. 24, pp 270–276
https://doi.org/10.53452/gb2417

Paulina Tikhonova, a botanist and head of the Kherson Museum of Natural History in the 1920s and early 1930s

Alexander Pryn

National Art and Culture Museum Complex "Mystetskyi Arsenal"

article info

key words

Paulina Tikhonova, museum, Kherson, botany, collection, herbarium, scientific equipment.

correspondence to

Alexander Pryn; National Art and Culture Museum Complex 'Mystetskyi Arsenal,' 10–12 Lavrska Street, Kyiv, 01010 Ukraine; Email: pryn.iskander@gmail.com; orcid: 0000-0001-7944-9262

article history

Submitted: 16.04.2023. Revised: 28.05.2023. Accepted: 30.06.2023

cite as

Pryn, A. 2023. Paulina Tikhonova, a botanist and head of the Kherson Museum of Natural History in the 1920s and early 1930s. *GEO&BIO*, **24**: 270–276. [In Ukrainian, with English summary]

abstract

The aim of the article is to explore the life and professional path of Paulina Tikhonova, a botanist and head of the Kherson Natural History Museum, during the difficult period of formation of the museum network in the early 1920s to early 1930s. The importance of the research is due to the need to create a complete his-tory of the museum science in Ukraine through a series of studies on the history of individual museums, their managers and employees. The source base of this article is a complex of discovered archival materials on the history of museums of the Kherson region. These materials are stored in the Central State Archives of Supreme Bodies of Power and Government of Ukraine in the fund P 166 of the Ministry of Education and Science of Ukraine (1920–1946 People's Commissariat of Education of the UkrSSR). The history of the Kherson Natural History Museum dates back to 1899, when the Natural History Museum of the Kherson Governorate Zemstvo was established. The Kherson Museum of Natural History is one of the 152 state-registered museums and one of the 10 natural history museums in the Soviet museum network. The article describes the stages of Paulina Tikhonova's education from primary education to getting higher education in Odessa. The biography and the main stages of her professional growth are shown, the professional trans-formation from the head of the visual instruments workshop of the Bender Zemstvo, the instructor for the production of visual natural instruments of the Kherson Governorate Zemstvo, assistant of the Kherson Polytechnic Institute, and teacher of the Kherson Institute of Public Education to the head of the Kherson Natural History Museum. Scientific expeditions in the territories of the Kherson region became the main source of enrichment of the museum's collection. Among them were trips to Dovhyi and Kruglyi islands, to Yahorlyk Bay, and the Kinburn Spit. Besides, in the article the structure of the Kherson Museum of Natural History is considered, the quantitative and qualitative composition of the collection is clarified, ways of its enrichment and other topics are considered. Regular working relations with local educational es-tablishments and leading scientific institutions and individual researchers are reflected.

© 2023 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 Attribu-tion License (CC BY-SA 4.0), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any me-dium, provided the original work is properly cited.

Пауліна Тихонова — ботанік, завідувач Херсонського природничо-історичного музею в 1920-х і на початку 1930-х років

Олександр Принь

Резюме. Стаття присвячена дослідженню життєвого та професійного шляху ботаніка та керівника Херсонського природничо-історичного музею Пауліни Тихонової у складний період становлення та формування музейної мережі початку 1920-х — початку 1930-х рр. в Україні. Актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю створення цілісної історії музейної справи в Україні через проведення низки досліджень з історії діяльності окремих музеїв, їхніх керівників та працівників музейних установ. Джерельною базою для написання статті став комплекс виявлених архівних матеріалів з історії музеїв Херсонської округи, що зберігаються у Центральному державному архіві вищих органів влади та управління України у фонді Р 166 «Міністерство освіти і науки України (1920–1946 Народний комісаріат освіти УСРР)». Херсонський природничо-історичний музей бере початок своєї історії у далекому 1899 р., коли було утворено Історично-природничий музей Херсонського губернського земства. В радянській музейній мережі Херсонський природничо-історичний музей був один із 152 музеїв, що перебували на державному обліку, та одним із 10 природничого профілю. У статті наведено етапи отримання освіти П. Тихонової від початкової освіти до отримання вищої освіти у м. Одесі. Відображено трудову біографію та основні етапи професійного зростання від завідування майстернею наочних приладів Бендерського земства, інструктора з виготовлення наочних природних приладь Херсонського губернського земства; асистента Херсонського політехнічного інституту, викладача Херсонського інституту народної освіти до завідувача Херсонського природничо-історичного музею. Основним джерелом поповнення фондової колекції музею стали наукові експедиції на теренах Херсонської округи. Серед них – експедиції на острови Довгий і Круглий, в Ягорлицьку затоку та Кінбурнську косу. Крім того, розглянуто структуру Херсонського природничо-історичного музею, з'ясовано кількісний та якісний склад фондового зібрання, розглянуто шляхи поповнення колекції тощо. Відображено сталі робочі зв'язки з місцевими закладами освіти та наукові — з провідними науковими інституціями та окремими дослідниками.

Ключові слова: Пауліна Тихонова, музей, Херсон, ботаніка, фондова колекція, гербарій, наукові приладдя.

Адреса для зв'язку: Олександр Принь; Національний культурно-мистецький та музейний комплекс «Мистецький арсенал», вул. Лаврська, 10–12, Київ, 01010 Україна; Email: pryn.iskander@gmail.com; orcid: 0000-0001-7944-9262

Вступ

Актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю створення цілісної історії музейної справи в Україні через проведення досліджень з історії діяльності окремих музеїв, їхніх керівників та працівників музейних установ.

Стаття присвячена біографічній розвідці життєвого та професійного шляху ботаніка та керівника Херсонського природничо-історичного музею Пауліни Тихонової у складний період становлення та формування музейної мережі від початку 1920-х до початку 1930-х рр.

Джерельна база

Основою для написання розвідки став комплекс виявлених архівних матеріалів з історії музеїв Херсонської округи, що зберігаються у Центральному державному архіві вищих органів влади та управління України у фонді Р 166 «Міністерство освіти і науки України (1920–1946 Народний комісаріат освіти УСРР)». Серед документів: особова справа П. Б. Тихонової, описові, фінансові та статистичні звіти про роботу музею, листування з Головнаукою, Сектором науки НКО УСРР з питань роботи музею, його потреб та перспектив розвитку, формування фондової колекції тощо.

Херсонський природничо-історичний музей бере початок своєї історії у далекому 1899 р., коли було утворено Історично-природничий музей Херсонського губернського земства [Diachenko 2007]. Музей був одним з 152 музеїв, що перебували на державному обліку та одним із 10 природничого профілю в Україні [ЦДАВО. Ф. Р. 166. Оп. 10. Спр. 43. Арк. 35].

На початку свого існування Херсонський природничо-історичний музей являв собою Ентомологічний кабінет, що складався з ентомологічної колекції, подарованою Одеською Ентомологічною комісією, і поступово поповнювався зразками комах-шкідників сільського господарства Херсонської губернії. Завідування кабінетом було доручено губернському земському ентомологу Йосипу Конрадовичу Пачоському. Він, будучи пристрасним мисливцем і чудовим стрільцем, незабаром набув на полюванні величезний матеріал фауни Бессарабії, Херсонської та Таврійської губерній. Отриманий матеріал було змонтовано у музеї спеціалістом-препаратором. До складу фондової колекції музею увійшла також колекція ссавців та птахів, зібраних та подарованих О. О. Браунером (148 екз.). Також у поповненні фондової колекцій музею особливо енергійну участь брала родина Фрідріха Едуардовича Фальц-Фейна (власника та засновника зоопарку та степового заповідника в Таврійській губернії «Асканія-Нова»). Рослинний світ Херсонщини був широко представлений у музеї, і музей цим завдячує Й. К. Пачоському, відомому ботаніку-географу, який протягом понад 25 років вивчав видовий склад флори. В обмін на свої гербарні екземпляри музей набув 900 видів «Herbarium Florae Rassicae», отриманих від Всеукраїнської академії наук [ЦДАВО. Ф. Р. 166. Оп. 4. Спр. 192. Арк. 247–248].

Із 16 лютого 1922 р. Херсонський природничо-історичний музей очолила Пауліна Борисівна Тихонова. На цій посаді вона замінила відомого вченого та засновника цього музею Йосипа Кондратовича Пачоського. Про життєвий шлях та діяльність Пауліни Тихонової немає публікацій, є лише невеличкі згадування у працях музейників про факт її керівництва Херсонським природничо-історичним музеєм [Diachenko 2007; Moisienko *et al.* 2014].

Curriculum vitae

Біографічна довідка, підготовлена клерком НКО УСРР для внутрішнього використання, містила коротку узагальнену характеристику очильниці музею: народилася у 1887 р. в м. Херсоні. Освіта — природничий відділ фізико-математичного факультету Одеських вищих жіночих курсів (1906 р.). З 1914 р. завідувала майстернею наочних приладів Бендерського земства; з 1917 р. — інструктор з виготовлення наочних природних приладь Херсонського губернського земства; з 1918 р. до 1920 р. — асистент ботаніки Херсонського політехнічного інституту. Завідувач музею з 1922 р. З 1920 р. — викладач Херсонського ІНО. Член Всесоюзного ботанічного товариства. Володіла чотирма мовами: українською, російською, німецькою та французькою [ЦДАВО. Ф. Р. 166. Оп. 9. Спр. 1467. Арк. 22].

Навчання та освіта

Більш розлогу інформацію про життєвий шлях та професійну діяльність дізнаємося з особової справи та життєпису П. Б. Тихонової, датованих 25 липня 1927 р. Народилася 20 вересня 1887 в м. Херсоні. Навчалася в Херсонській 8-ми класній гімназії, яку закінчила із золотою медаллю в 1906 р. (рис. 1, *a*–*b*). Після закінчення гімназії переїхала до м. Одеси, де працювала вчителькою у народних школах та вечірніх робочих курсах.

Перебуваючи в Одесі, П. Тихонова вступила на Вищі жіночі курси, які скінчила в 1914 р. по природничому відділу фізико-математичного факультету. Під час навчання вона зацікавилася поглибленим вивченням природничих дисциплін та сконцентрувала свою увагу за напрямом ботаніка під керівництвом проф. М. М. Зеленецького (ботаніка) та Ф. М. Породька (анатомія рослин).

Педагогічна праця вимагала набуття практичних знань на дослідах та приладдях, тому П. Тихонова багато часу працювала в Одеському педагогічному музеї, а літні місяці присвячувала науковим відрядженням (екскурсіям) для ознайомлення з природою Дніпра, Волги, Кавказу та Криму.

Упродовж 1912 та 1913 рр. П. Тихонова викладала ботаніку на літніх педагогічних курсах для вчителів, які заснувало в Одесі Товариство розповсюдження знань. Із 1914 р. до 1917 р. працювала на посаді завідувача майстерні наочних навчальних приладів Бендерського

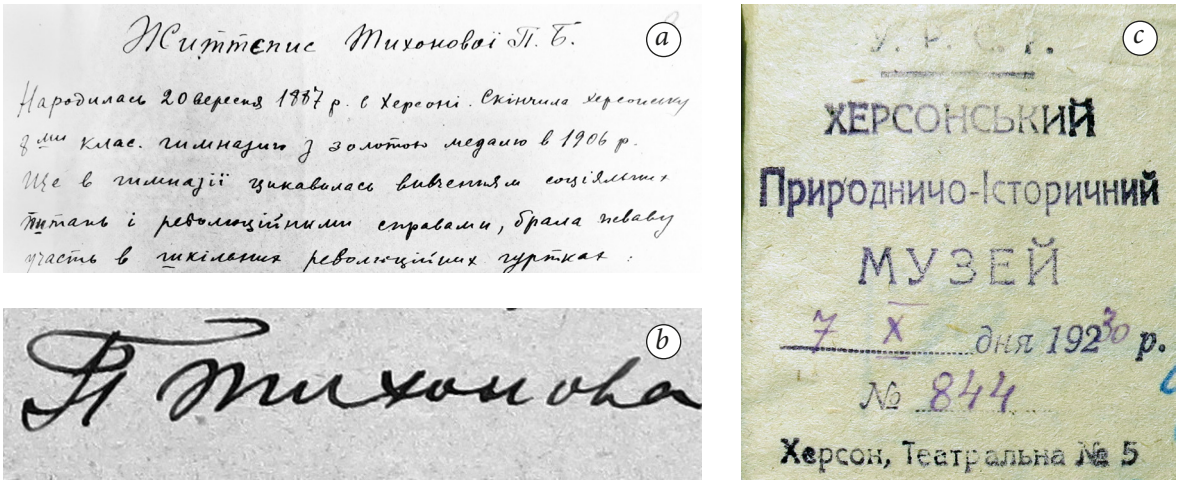


Рис. 1. Фотодокументи, що ілюструють діяльність П. Тихонової та музею у час її роботи: (*a*) фрагмент автобіографії П. Тихонової (25 липня 1927 р.); (*b*) підпис П. Тихонової; (*c*) кутовий штамп Херсонського природничо-історичного музею.

Fig. 1. Photo documents illustrating the activities of P. Tikhonova and the museum during her work: (*a*) a fragment of P. Tikhonova's autobiography; (*b*) signature of P. Tikhonova; (*c*) corner stamp of the Kherson Museum of Natural History.

земства. Під час роботи вона ознайомилася з рослинністю, зібрала гербарії флори Бендерського повіту й окремо гербарії медодайних та лікарських рослин. Влітку 1917 р. П. Тихонова переїхала на Кавказ, де вивчала флору в районі мінеральних джерел біля м. П'ятигорська та впродовж двох місяців досліджувала там хімічний склад питних мінеральних вод.

Наприкінці серпня 1917 р. П. Тихонова повернулася до Херсона, де влаштувалась на роботу до Херсонського губернського земства та взялась за виготовлення наочних приладів з ботаніки для шкіл. Після ліквідації земства вона продовжила роботу у відділі народної освіти інструктором з виготовлення шкільних наочних приладів із природознавства.

З осені 1918 р. П. Тихонову запросили працювати в Херсонському політехнічному інституті на посаді асистента з ботаніки під керівництвом проф. Й. К. Пачоського, де вона вела практичні заняття з ботаніки. З 1918 до 1922 р. дослідниця зібрала гербарії флори з околиць Херсона та намалювала аквареллю близько 200 таблиць рослин, які використані як наукові приладдя при викладанні ботаніки. Одночасно з осені 1920 р., за запрошенням керівництва Херсонського інституту народної освіти, вона читала курс ботанічних дисциплін для студентів ІНО.

Музейна справа

Із 16 лютого 1922 р. вчену призначено на посаду завідувача Херсонського природничо-історичного музею (рис. 1, *c*). Окрім інтенсивної педагогічної діяльності П. Тихонова багато часу приділяла науковій складовій своєї діяльності. Так, за період з 1918–1928 рр. роботи в м. Херсоні та передмісті було проведено наукові дослідження та оформлено рукописи: «Дикоростучі медодайні рослини в околицях м. Херсона» (1918–1919), «Фітопланктон нижньої частини Дніпра» (1920–1921); «Осмотичне тиснення у деяких солончакових рослин» (1922), «Отруйні рослини Херсонщини» (1923), «Лікарські та чинбарні рослини в Херсонській окрузі» (1924), «Матеріали до краєзнавчої роботи в школі — ботанічна екскурсія на Дніпрянському плавню» (1925), «Провідник по Херсонщині для екскурсантів» (1926), «Каталог Херсонського природничо-історичного музею» (1928) [ЦДАВО. Ф. Р. 166. Оп. 12. Спр. 7665. Арк. 4; ЦДАВО. Ф. Р. 166. Оп. 8. Спр. 443. Арк. 219]. За браком коштів не всі наукові праці були надруковані.

Окрім педагогічної та наукової діяльності П. Тихонова брала участь у роботі низки заходів та діяльності різних громадських товариств та організацій. Зокрема, в січні 1926 р., як делегат від Херсонського ІНО, Пауліна Тихонова взяла участь у Всесоюзному з'їзді ботаніків у Москві, а також брала участь у діяльності Всесоюзного ботанічного товариства, Херсонського краєзнавчого товариства, була дієвим членом-кореспондентом Одеської краєвої комісії охорони пам'яток матеріяльної культури та природи від Херсонської округи [ЦДАВО. Ф. Р. 166. Оп. 12. Спр. 7665. Арк. 3].

Структура та наповненість музею

Під час каденції Пауліни Тихонової музей розміщувався за адресою: м. Херсон, вул. Театральна, буд. 5. Відомча підпорядкованість музею — окружний відділ політосвітньої роботи Херсонського окрвиконкому. Штатний розклад музею мав усього дві оплачувані посади — завідувача та сторожа. Без фінансового забезпечення у музеї працювало також ще 10 співробітників за основними напрямами практичної роботи музею [ЦДАВО. Ф. Р. 166. Оп. 5. Спр. 262. Арк. 491].

Перші офіційні дані про стан фондової колекції містяться у першому статистичному річному звіті, надісланому до НКО УСРР. Дані звіту констатують, що за період з 01.10.1924 до 01.10.1925 Херсонський природничо-історичний музей відвідали 17 899 містян та гостей міста [ЦДАВО. Ф. Р. 166. Оп. 5. Спр. 262. Арк. 491 зв.]. У зазначений звітний період музей мав таку структуру та наповненість відділів (табл. 1).

Окрім зазначених відділів, на базі музею також діяли й інші структурні підрозділи: виставковий зал для експонатів із фауни колишньої Херсонської губернії; ботанічний кабінет; ентомологічний кабінет; бібліотека; екскурсбюро для вивчення місцевого краю; вчительський гурток та гурток студентів Херсонського ІНО.

Загалом на кінець 1925 р. в Херсонському природничо-історичному музеї експонувалося 2 996 предметів фондової природничої колекції [ЦДАВО. Ф. Р. 166. Оп. 5. Спр. 262. Арк. 492].

До основних просвітницьких лекційних заходів музею з відвідувачами включено такі лекції: «Фауна й флора нашого краю», «Значення природничо-історичного музею для вивчення краю», «Засмічуючі рослини», «Вплив рослин на розвиток ґрунту», «Методичні вказівки для шкільних екскурсій до музею» тощо.

З невеличким розширенням штату в 1926 р., в музеї почав працювати препаратор, який в майстерні музею виготовляв експонати з матеріалів, що були зібрані під час нетривалих екскурсій — чучела ссавців, птахів, колекції комах.

Таблиця 1. **Структура та наповненість відділів музею у період 1924–1925 рр.**
Table 1. **The structure and occupancy of the museum's departments in the period of 1924–1925**

№	Назва відділу	Кількість експонатів
1	Відділ ссавців	182
2	Відділ птахів	1384
3	Відділ рептилій	26
4	Відділ амфібій	15
5	Відділ риб	83
6	Відділ яйце пташине	250
7	Відділ комах	–
8	Відділ гербарій	130
9	Відділ насіння дикорастучих рослин	803
10	Відділ дендрологічний	30
11	Відділ корінних систем засмічуючих рослин	17
12	Відділ з рибальства	3
13	Відділ боротьби зі шкідниками з класу комах	10
14	Відділ боротьби зі шкідниками з класу паразитуючих грибів	10
15	Відділ мінералів Криворіжжя	53
	Разом	**2996**

У 1927 р. П. Тихонова змогла отримати додаткове фінансування музею від Упрнауки Народного комісаріату освіти для проведення наукових експедицій на теренах Херсонської округи. На отримані кошти влітку та восени 1927 р. було проведено експедиційні виїзди в Дніпровські плавні, острови Довгий і Круглий, в Ягорлицьку затоку та Кінбурнську косу. Метою експедиції стало ознайомлення з міграцією перелітних птахів та збір зразків ссавців: землерийки, тушканчики, криси, миші, вужі, жаби, комахи з ряду Coleoptera, Orthoptera та ін. [ЦДАВО, Ф. Р. 166. Оп. 6. Спр. 172. Арк. 271].

У 1927 р. Херсонський природничо-історичний музей мав уже три штатні одиниці персоналу, бюджет утримання музею склав 4132 крб, фондова колекція складала 39 446 одиниць, а бібліотека налічувала 3800 одиниць спеціалізованої літератури. Для порівняння, Одеський природничий музей мав штат 10 одиниць, бюджет 10520 крб на рік та 28066 експонатів, а Миколаївський природничий музей мав три штатні одиниці персоналу з бюджетом 2152 крб при кількості фондової колекції 6972 од. зб. [ЦДАВО. Ф. Р. 166. Оп. 9. Спр. 1467. Арк. 11].

Інституційна колаборація

Херсонський природничо-історичний музей обслуговував студентів Херсонського інституту народної освіти, Херсонського сільськогосподарського технікуму, учнів професійних та трудових шкіл м. Херсона. Окрім просвітницької діяльності музей підтримував сталі наукові зв'язки з науковими установами Всеукраїнської академії наук, Всесоюзною академією наук, Краєзнавчим комітетом у Харкові та Москві, Народним комісаріатом земельних справ та підтримував наукові зв'язки з окремими науковцями: зоологами В. М. Артоболевським та О. М. Кириченком, ботаніками Є. М. Лавренком, В. І. Липським, Г. І. Танфільєвим та ін. [ЦДАВО. Ф. Р. 166. Оп. 6. Спр. 277].

Попри мізерне фінансування потреб музею, Пауліна Тихонова не тільки належним чином опікувалася наявною колекцією, але й змогла організувати значне поповнення природничої колекції Херсонського природничо-історичного музею. Крім того, підтримуючи добрі наукові стосунки зі своїм вчителем Й. К. Пачоським, П. Тихоновій, під егідою Херсонського природничо-історичного музею, вдалося організувати видання рукопису вченого «Опис рослинності Херсонської губернії. Випуск ІІІ. Плавні, піски, солончаки, бур'яни» з авторською передмовою [Paczoski, 1927].

У жовтні 1930 р. Сектор науки НКО УСРР повідомив П. Тихонову, що питання про об'єднання Херсонських історико-археологічного та природничо-історичного музеїв залишається відкритим та що в 1930–1931 роках за кошти державного бюджету утримуватиметься лише один Херсонський історико-археологічний музей [ЦДАВО. Ф. Р. 166. Оп. 9. Спр. 1507. Арк. 6].

Трагічні події періоду репресій, що розгорнулися в Україні на початку 1930-х рр., не оминули долю П. Тихонової. Її було заарештовано 23.12.1932 р. (на момент арешту проживала в м. Херсоні), звинувачено за ст. 54-10 УК УССР особливою нарадою при Колегії ДПУ УРСР від 30.04.1933 р. Вирок: з-під варти звільнено. Реабілітована 23.01.1992 [ДА Херсонської області. Ф. Р. 4033. Оп. 9. Спр. 104. Арк. 54, 56, 134, 137]. Подальша доля П. Тихонової невідома.

Обговорення

Наразі доступні до опрацювання архівні документи не дозволяють повноцінно простежити життєвий шлях Пауліни Тихонової. Досліджені документи дають можливість констатувати, що діяльність вченої сприяла збереженню та збільшенню ботанічної колекції музею й поширенню природничих знань на теренах Херсонщини. Подальша доля Пауліни Тихонової після ув'язнення невідома.

Ця публікація не є остаточним дослідженням, що розкриває життєвий шлях та багатогранну діяльність вченої та відкриває напрям подальшого наукового пошуку з дослідження невідомих та призабутих сторінок історії музейного життя як Херсонщини, так і загалом музейної справи України 1920-х та початку 1930-х років.

Подяки

Стаття підготовлена в межах родинного кошторису (без грантової підтримки) в порядку особистої ініціативи повернення забутих імен дослідників та музейників і є продовженням у циклі статей про А. Артюхову, В. Грінченка, С. Грушевського, В. Грінченка, Р. Данківську, І. Коваленка, П. Козлова, Є. Рудинську, М. Рудинського, Я. Симонова, М. Тімашеву, Г. Каховського, С. Локтюшева, О. Маліношевського, О. Якубського та ін.

Автор дякує Марині Принь та Лілії Шереметі за творче натхнення, Ігорю Загороднюку за конструктивні пропозиції стосовно удосконалення публікації, Сергію Дяченку та Михайлу Підгайному за окремі факти з історії Херсонського природничо-історичного музею.

References

Diachenko, S. A. 2007. Short historical essay of the Kherson Museum of Local History. *Herald of the Odesa Museum of History and Local History*, No. 3: 30–34. [In Russian]

Moisienko, I. I., M. F. Boyko, M. M. Pidgainy, O. E. Khodosovtsev. 2009. Joseph Pachosky. Kherson flora. Volume II. Poznań, 2008. *Chornomorski Botanical Journal*, **5** (3): 458–460. [In Ukrainian] https://doi.org/10.14255/2308-9628/09.53/14

Melnyk, V. I. 2014. Jozef Konrad Paczoski (150th Anniversary). *Ukrainian Botanical Journal*, **71** (6): 740–746. [In Ukrainian] https://doi.org/10.15407/ukrbotj71.06.740

Paczoski, J. K. 1927. *Materials for the study of soils and soils of the Kherson province: description of the vegetation of the Kherson province. Floats, sands, salt marshes, weeds*. Issue 3. Kherson Museum of Natural History, Kherson, 1–228. [In Russian]