ISSN 2415-8860 (online)
ISSN 0372-4123 (print)
2026 Vol. 83 No. 2 (493)

УКРАЇНСЬКИЙ БОТАНІЧНИЙ ЖУРНАЛ

UKRAINIAN BOTANICAL JOURNAL

A JOURNAL FOR BOTANY & MYCOLOGY



UKRAINIAN BOTANICAL JOURNAL is a scientific journal publishing articles and contributions on all aspects of botany and mycology, including general issues, taxonomy, floristics, vegetation science, ecology, evolutionary biology, geography, history of flora and vegetation as well as morphology, anatomy, physiology, biochemistry, cell and molecular biology of plants and fungi.

Publication languages: English and Ukrainian

УКРАЇНСЬКИЙ БОТАНІЧНИЙ ЖУРНАЛ публікує статті з усіх напрямів ботаніки та мікології, в тому числі із загальних питань, систематики, флористики, геоботаніки, екології, еволюційної біології, географії, історії флори та рослинності, а також морфології, анатомії, фізіології, біохімії, клітинної та молекулярної біології рослин і грибів.

Статті друкуються англійською та українською мовами

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief
Sergei L. MOSYAKIN

Associate Editors
Ganna V. BOIKO
Vera P. HAYOVA

Dirk C. ALBACH (Oldenburg, Germany)
Illya I. CHORNEY (Chernivtsi, Ukraine)
Peter J. de LANGE (Auckland, New Zealand)
Yakiv P. DIDUKH (Kyiv, Ukraine)
Mykola M. FEDORONCHUK (Kyiv, Ukraine)
Zigmantas GUDŽINSKAS (Vilnius, Lithuania)
Vasyl P. HELUTA (Kyiv, Ukraine)
Bogdan JACKOWIAK (Poznan, Poland)
Jürgen KELLERMANN (Adelaide, Australia)
Olexander E. KHODOSOVTSEV (Kherson, Ukraine)
Sergey Y. KONDRATYUK (Kyiv, Ukraine)
Iryna V. KOSAKIVSKA (Kyiv, Ukraine)
Karol MARHOLD (Bratislava, Slovakia)
Eviatar NEVO (Haifa, Israel)
Peter RAVEN (St. Louis, USA)
Myroslav V. SHEVERA (Kyiv, Ukraine)
Natalia M. SHYIAN (Kyiv, Ukraine)
Maryna M. SUKHOMLYN (Kyiv, Ukraine)
Susumu TAKAMATSU (Tsu, Japan)
Filip VERLOOVE (Meise, Belgium)
Oxana M. VYNOGRADOVA (Kyiv, Ukraine)
Solomon P. WASSER (Haifa, Israel)
Olena K. ZOLOTAREVA (Kyiv, Ukraine)

Editorial Assistant
Mariya D. ALEINIKOVA

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор
Сергій Л. МОСЯКІН

Заступники головного редактора
Ганна В. БОЙКО
Віра П. ГАЙОВА

Дірк К. АЛЬБАХ (Ольденбург, Німеччина)
Ілля І. ЧОРНЕЙ (Чернівці, Україна)
Пітер Дж. де ЛАНГЕ (Окленд, Нова Зеландія)
Яків П. ДІДУХ (Київ, Україна)
Микола М. ФЕДОРОНЧУК (Київ, Україна)
Зігмантас ГУДЖИНСКАС (Вільнюс, Литва)
Василь П. ГЕЛЮТА (Київ, Україна)
Богдан ЯЦКОВЯК (Познань, Польща)
Юрген КЕЛЛЕРМАНН (Аделаїда, Австралія)
Олександр Є. ХОДОСОВЦЕВ (Херсон, Україна)
Сергій Я. КОНДРАТЮК (Київ, Україна)
Ірина В. КОСАКІВСЬКА (Київ, Україна)
Кароль МАРГОЛЬД (Братислава, Словаччина)
Евіатар НЕВО (Хайфа, Ізраїль)
Пітер РЕЙВЕН (Сент-Луїс, США)
Мирослав В. ШЕВЕРА (Київ, Україна)
Наталія М. ШИЯН (Київ, Україна)
Марина М. СУХОМЛИН (Київ, Україна)
Сусуму ТАКАМАЦУ (Цу, Японія)
Філіп ВЕРЛООВ (Мейсе, Бельгія)
Оксана М. ВИНОГРАДОВА (Київ, Україна)
Соломон П. ВАССЕР (Хайфа, Ізраїль)
Олена К. ЗОЛОТАРЬОВА (Київ, Україна)

Відповідальний секретар
Марія Д. АЛЕЙНІКОВА

Front cover: *Coenogonium luteum* (Dicks.) Kalb & Lücking on the trunk of the silver fern, *Alsophila dealbata* (G. Forst.) Corda, Waitākere, Tāmaki Makaurau | Auckland, Aotearoa | New Zealand.

Photo by © Campbell James

На обкладинці: *Coenogonium luteum* (Dicks.) Kalb & Lücking на стовбурі деревоподібної папороті *Alsophila dealbata* (G. Forst.) Corda, гірський хребет Вайтакере, Окленд, Аотеароа | Нова Зеландія.

Фото © Кемпбелл Джеймс

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE
M.G. KHOLODNY INSTITUTE OF BOTANY OF THE NAS OF UKRAINE

UKRAINIAN BOTANICAL JOURNAL

УКРАЇНСЬКИЙ БОТАНІЧНИЙ ЖУРНАЛ

2026
Vol. 83
2 (493)

PUBLISHED BIMONTHLY
SCIENTIFIC JOURNAL
FOUNDED IN 1921
KYIV

CONTENTS

Fungi and Fungi-like Organisms

JAMES C.J., BLANCHON D.J., de LANGE P.J. A revision of the *Coenogonium luteum* (*Coenogoniaceae*) complex in Aotearoa | New Zealand, with new records and new species, and a note on *C. tomentosum* 73

Mycological Records

SHEVCHENKO M.V. *Fibricium rude* (*Hymenochaetales*), the first record in Ukraine 87

Red Data Book of Ukraine

DUDÁŠ M., FELBABA-KLUSHYNA L. *Ranunculus lateriflorus* (*Ranunculaceae*) within the Prytysianska lowland (Ukraine): distribution, ecology, and conservation assessment 92

Herbarium Curation

BORYSOVA O.V., BUROVA O.V., MIKHAILYUK T.I., KONISHCHUK M.O., FRIEDL T. Microalgae Culture Collection of the M.G. Kholodny Institute of Botany (IBASU-A): a 65-year history 102

ЗМІСТ

Гриби і грибоподібні організми

ДЖЕЙМС К.Дж., БЛАНШОН Д.Дж., де ЛАНГЕ П.Дж. Перегляд комплексу видів *Coenogonium luteum* (*Coenogoniaceae*) у Новій Зеландії: нові види, нові знахідки й нотатки щодо *C. tomentosum* 73

Мікологічні знахідки

ШЕВЧЕНКО М.В. *Fibricium rude* (*Hymenochaetales*) — перша знахідка в Україні 87

Червона книга України

ДУДАШ М., ФЕЛЬБАБА-КЛУШИНА Л. *Ranunculus lateriflorus* (*Ranunculaceae*) на Притисянській низовині (Україна): поширення, екологічна та созологічна оцінка 92

Гербарна справа

БОРИСОВА О.В., БУРОВА О.В., МИХАЙЛЮК Т.І., КОНІЩУК М.О., ФРІДЛ Т. Колекція культур мікроводоростей Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України (IBASU-A): 65-річна історія 102

© M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine, 2026
© Publisher PH "Akademperiodyka" of the NAS of Ukraine, 2026

Biotechnology, Physiology and Biochemistry

KERNER A.O., AL-MAALI G.A., KORZH R.A. Screening of selected basidiomycetes for flumequine biotransformation 120

FEDENKO V.S. Anthocyanin pigmentation of tissues of vegetative organs of *Lamium purpureum* (*Lamiaceae*) 129

In Memoriam

Peter Raven (1936–2026): The End of the Journey ... 142

Біотехнологія, фізіологія, біохімія

КЕРНЕР А.О., АЛЬ-МААЛІ Г.А., КОРЖ Р.А. Скринінг штамів деяких базидієвих грибів на здатність до біотрансформації флюмеквіну 120

ФЕДЕНКО В.С. Антоціанова пігментація тканин вегетативних органів *Lamium purpureum* (*Lamiaceae*) 129

Втрати науки

Пітер Рейвен (1936–2026): завершення мандрівки .. 142

Approved by the Academic Council of the M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine
(Resolution No. 7 of 28 April 2026)

Editorial office address: M.G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine
2 Tereshchenkivska Str., Kyiv 01601, Ukraine

Tel.: +380 44 235 4182
E-mail: *secretary_ubzh@ukr.net*
Web: https://ukrbotj.co.ua

Media ID (ідентифікатор медіа): R30-03012. Decision of the National Council of Television and Radio Broadcasting of Ukraine of 21.03.2024 No. 890

Technical editor O.Ye. Bondarenko

Layout N.S. Reshetnykova

Submitted for printing on 12.05.2026. Format 84 × 108/16. Typeface. Minion Pro
Conventional printed sheets 7,77. Physical printed sheets 9,25. Circulation 95 copies. Order no. 8043

Publisher PH "Akademperiodyka" of the NAS of Ukraine
4 Tereschenkivska Str., Kyiv 01024, Ukraine

Certificate of entry to the State Register of Publishing Agents
series ДК No. 544 of 27.07.2001

FUNGI AND FUNGI-LIKE ORGANISMS
ГРИБИ І ГРИБОПОДІБНІ ОРГАНІЗМИ

https://doi.org/10.15407/ukrbotj83.02.073
RESEARCH ARTICLE

A revision of the *Coenogonium luteum* (*Coenogoniaceae*) complex in Aotearoa | New Zealand, with new records and new species, and a note on *C. tomentosum*

Campbell J. JAMES [1]*, Dan J. BLANCHON [2], Peter J. de LANGE [1]

[1] Applied Molecular Solutions Research Group,
School of Environmental and Animal Sciences, Unitec Institute of Technology,
Private Bag 92025, Victoria Street West, Auckland 1142, New Zealand

[2] Auckland War Memorial Museum Tāmaki Paenga Hira,
Private Bag 92018, Victoria Street West, Auckland, New Zealand

* Author for correspondence: *cjames@unitec.ac.nz*

Abstract. *Coenogonium* (lichenized *Ascomycota*: *Coenogoniaceae*) was last treated in Aotearoa | New Zealand by Galloway (2007), who accepted nine species, with a further species subsequently described, bringing the total to 10 species. Since this treatment, mounting evidence has indicated that *Coenogonium luteum* (Dicks.) Kalb & Lücking may constitute a species complex in New Zealand collections, highlighting the need for a comprehensive taxonomic re-evaluation. Specimens of *C. luteum* were examined from multiple New Zealand herbaria, with a focus on those from Auckland War Memorial Museum (AK), University of Otago (OTA) and Unitec (UNITEC). The results of this indicated that collections of *C. luteum* sensu lato included multiple taxa. Here, we present a revised circumscription of *C. luteum* for New Zealand material, report two new records for Aotearoa, *C. australiense* Kantvilas & Lücking and *C. pineti* (Ach.) Lücking & Lumbsch, and describe two new species: *C. hepatiphilum* C.J. James sp. nov. and *C. goniocystosum* C.J. James sp. nov. For all five species, we provide morphological descriptions, ecological notes, distribution data, conservation assessments and a revised key to *Coenogonium* in Aotearoa. In addition, we synonymize *C. pertenue* (Stirt.) Kalb & Lücking with *C. luteum* and *C. tomentosum* Müll. Arg. with *C. implexum* Nyl.

Keywords: Aotearoa | New Zealand, *Coenogonium*, lichen taxonomy, lichenized mycobiota, new species, new synonyms

Introduction

Coenogonium Ehrenb. (lichenized *Ascomycota*: *Coenogoniaceae*) is a large genus consisting of upward of 130 species, with a subcosmopolitan global distribution (Rivas Plata et al., 2006; Ferraro, Michlig, 2013; de Oliveira et al., 2023; Adhikari et al., 2024). Characterized by biatorine (rarely zeorine) yellow to orange or brown apothecia with paraplectenchymatous excipulum, 1-septate or rarely

ARTICLE HISTORY. Submitted 25 February 2026. Revised 14 April 2026. Published 30 April 2026

CITATION. James C.J., Blanchon D.J., de Lange P.J. 2026. A revision of the *Coenogonium luteum* (*Coenogoniaceae*) complex in Aotearoa | New Zealand, with new records and new species, and a note on *C. tomentosum*. *Ukrainian Botanical Journal*, 83(2): 73–86. https://doi.org/10.15407/ukrbotj83.02.073

© M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine, 2026
© Publisher PH "Akademperiodyka" of the NAS of Ukraine, 2026

This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

non-septate ascospores, and a trentepohlioid photobiont; species in the genus can be crustose to filamentous and occur on various substrates: bark, bryophytes, leaves, rocks and soil (Rivas Plata et al., 2006; Ferraro, Michlig, 2013). *Coenogonium* has been in the focus of several recent phylogenetic studies, resulting in the addition of new taxa (de Oliveira et al., 2023; Malíček et al., 2023; Adhikari et al., 2024), rapidly raising the genus as one of the most species-rich genera of lichenized fungi (Lücking et al., 2017; Kantvilas et al., 2018).

In the most recent revision of *Coenogonium* for Aotearoa | New Zealand (hereafter Aotearoa), Galloway (2007) accepted nine species, with the later addition of an isidiate species, *C. fruticulosum* L. Ludw. (Ludwig, 2014), increasing the total to 10 species. The variable and widespread species, *Coenogonium luteum* (Dicks.) Kalb & Lücking, is now thought to be a species complex. In Australia, *C. australiense* Kantvilas & Lücking has been segregated and described from the complex, with more thought to be likely (Kantvilas et al., 2018). For Aotearoa, use of the key in Galloway (2007) results in any crustose specimens with large yellow to yellow-orange apothecia being identified as *C. luteum* sensu Galloway (2007), despite morphological differences being present. Hence, revision of the species complex (and genus) was necessary and the following recent revisions of this genus in Tasmania (Kantvilas et al., 2018; Kantvilas, 2024) sparked our investigation into the *C. luteum* sensu lato of Aotearoa taxa, as well as an update of the other members of the genus that were accepted by Galloway (2007) (James, 2024).

In this article, we present a revision of the Aotearoa members of the *C. luteum* complex, including a refined description of *C. luteum* for Aotearoa material, two new records for Aotearoa, *C. australiense* and *C. pineti* (Schrad. ex Ach.) Lücking & Lumbsch, and two new species: *C. hepatiphilum* C.J. James sp. nov. and *C. goniocystosum* C.J. James sp. nov. For each species, we provide descriptions, ecology, and suggest a conservation status using the New Zealand Threat Classification System (Rolfe et al., 2022). The focus on the genus also revealed taxa that merit synonymization. In this article, we synonymize the following species: *C. pertenue* (Stirt.) Kalb & Lücking (treated as a synonym of *C. luteum* already in Kantvilas et al., 2018), and *C. tomentosum* Müll. Arg. (designated here as a synonym of *C. implexum* Nyl.). Finally, we provide a revised key to the genus *Coenogonium* in Aotearoa.

Materials and Methods

Specimens of *Coenogonium luteum* sensu lato (including those listed under synonyms and previously applied names) and undetermined collections within the genus were examined from the herbaria AK, OTA and UNITEC (herbarium acronyms follow Thiers, 2008–onwards). Opportunistic sampling was also conducted in Whangārei: Whangārei Heads (–36.850, 174.571); the Auckland Region: Hunua Ranges (–37.024, 175.094), Rangitoto Island (–36.784, 174.863), Schnapper Rock (–36.752, 174.690), Waitākere Ranges (–36.864, 174.490); Central Otago: Herbert Forest (–45.251, 170.757), Trotters Gorge (–45.405, 170.777); and Rēkohu | Wharekauri | Chatham Island (–43.762, –176.571). The specimens are cited in the 'representative specimens' listings, as well as the distribution maps created using ArcGIS v3.6.1 provided for each taxon in this article. Specimens were examined with standard microscopic techniques and photographs of morphological features acquired using a Leica S9i Leica Application Suite X 3.8.2.27713. In this article, the microscopic images used may inadvertently exaggerate or provide unreliable colour interpretation from the collected specimens. Therefore, for colour reference refer to the descriptions. For each taxon, we also suggest a Threat Classification status following the New Zealand Threat Classification system (Rolfe et al., 2022) based on information gathered from collections and preserved specimens, which we hope will contribute to the eventual threat listing following on from de Lange et al. (2018).

Taxonomy

Coenogonium luteum (Dicks.) Kalb & Lücking, Bot. Jahrb. Syst. 122 (1): 32 (2000) ≡ *Lichen luteus* Dicks., Fasc. Plant. Crypt. Brit. 1: 11 (1785) ≡ *Dimerella lutea* (Dicks.) Trevis., Rend. Reale Inst. Lombardo Sci. 13: 66(1880); type not seen.

= *Coenogonium pertenue* (Stirt.) Kalb & Lücking, syn. nov., Fungal Diversity 23: 297 (2006) ≡ *Baeomyces pertenuis* Stirt., Trans. Glasgow Soc. Field Naturalists 1: 17 (1873); type not seen (BM — isotype)

Mycobank accession number: 458099

Note. *Coenogonium pertenue* was treated as a synonym of *C. luteum* by Galloway (2007) and reinstated by Rivas Plata et al. (2006) on account of longer and wider ascospores. Kantvilas et al. (2018) examined the isotype of *C. pertenue* (in BM), and

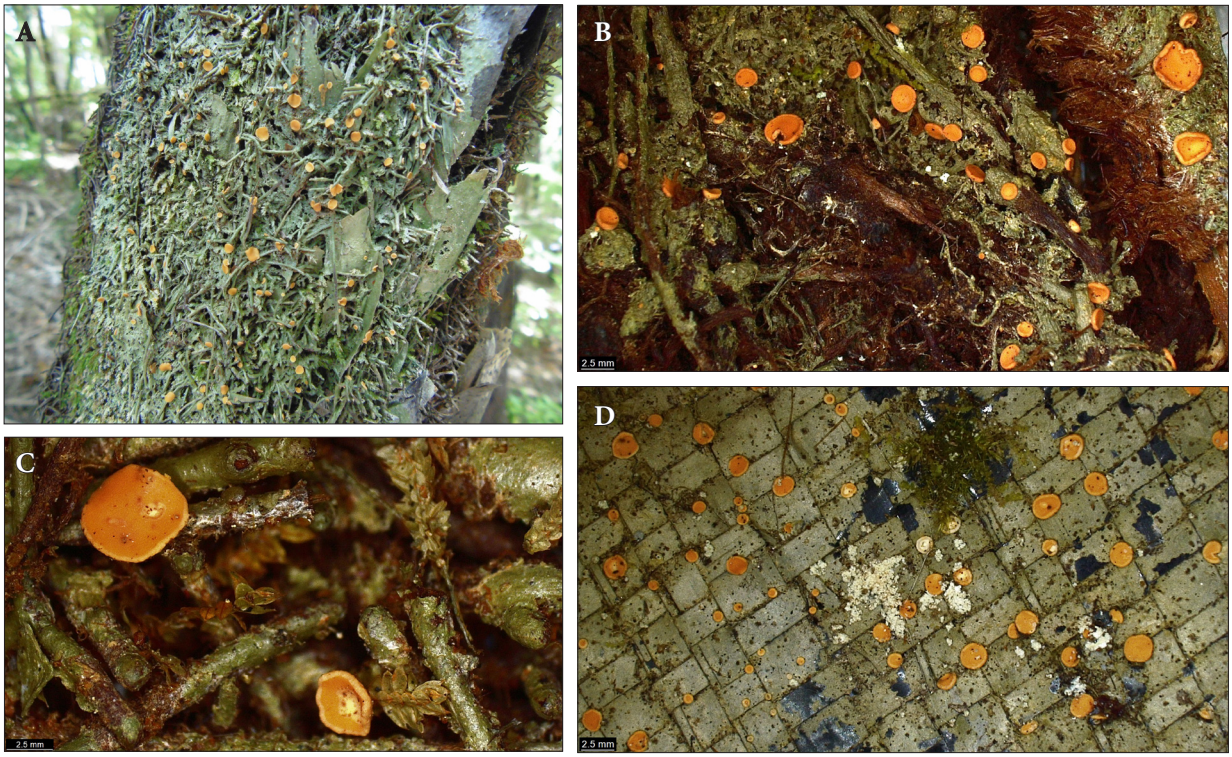


Fig. 1. *Coenogonium luteum*. A: Habit of *C. luteum*, growing on the trunk of *Alsophila dealbata*, Waitākere, Tāmaki Makaurau | Auckland, Aotearoa | New Zealand. Photo: Campbell James (iNaturalist: 247582165); B, C: Close up of thallus and apothecia, growing on the trunk of *Alsophila dealbata*, Waitākere, Tāmaki Makaurau | Auckland, Aotearoa | New Zealand (UNITEC15298); D: Thallus and apothecia of *C. luteum* growing on exposed plastic weed mat, Schnapper Rock, Albany (UNITEC14467)

found that it had uniseriate ascospores, with measurements of 9–11 × 2–3 µm. The habitat on a tree fern trunk, along with anatomy, led Kantvilas et al. (2018) to suggest that *C. pertenue* is a poorly developed specimen of *C. luteum*. Here, we officially re-synonymize the name.

Description (Fig. 1). Corticolous (mostly on the caudex of tree-ferns in the genera *Alsophila* R. Br., *Dicksonia* L'Hér and *Sphaeropteris* Wall). ***Thallus*** crustose, ecorticate, dull grey to grey-green when dry, green to brown-green when wet, to 50 µm thick, smooth to rarely unevenly verrucose, thin, varnish-like, continuous or forming irregular, undelimited patches to c. 20 cm wide that encrust the substratum. ***Prothallus*** absent. ***Photobiont*** green, cells subglobose to oblong, 7–16 × 7–12 µm. ***Apothecia*** sessile, 0.7–2.5(–3.0) mm wide, when young: disc plane, orange, margin occasionally in rolled, cream to concolorous with disc, when mature: disc plane to subconvex, deep orange, margin often undulating and creating an irregular shape, concolorous with disc or slightly paler. ***Proper excipulum*** 100–150 µm thick basally, 50–100 µm thick laterally. ***Hypothecium*** hyaline, 40–75 µm thick. ***Hymenium*** hyaline, 50–75 µm thick. ***Paraphyses*** 1.0–1.5 µm thick, apices swollen to 3–5 µm thick. ***Asci*** cylindrical, 55–65 × 4–6 µm. ***Ascospores*** uniseriate, narrowly ellipsoidal, 1-septate, 7–11 × 2–4 µm. ***Pycnidia*** not seen.

Representative specimens (out of 84). TE IKA-A-MĀUI | NORTH ISLAND: Whangarei, Coronation Reserve, *P. Bell-Butler s.n.*, 1 April 2020, UNITEC11652; Northland, Tangihua Forest, *A.E. Wright 11674*, 29 August 1991, AK204565; Hauturu-o-Toi | Little Barrier Island, *B.W. Hayward*, August 1981, AK175109; North Kaipara, Tapu Bush, *A.E. Wright 11616*, 25 May 1991, AK202429; Auckland, Schnapper Rock, *C.J. James s.n.*, 4 June 2024, UNITEC14467; Auckland, Schnapper Rock, *C.J. James s.n.*, 1 September 2024, UNITEC14468; Auckland, Kohimarama, *D.J. Blanchon s.n. & N. Leddy*, 13 April 2015, UNITEC7154; Waitākere

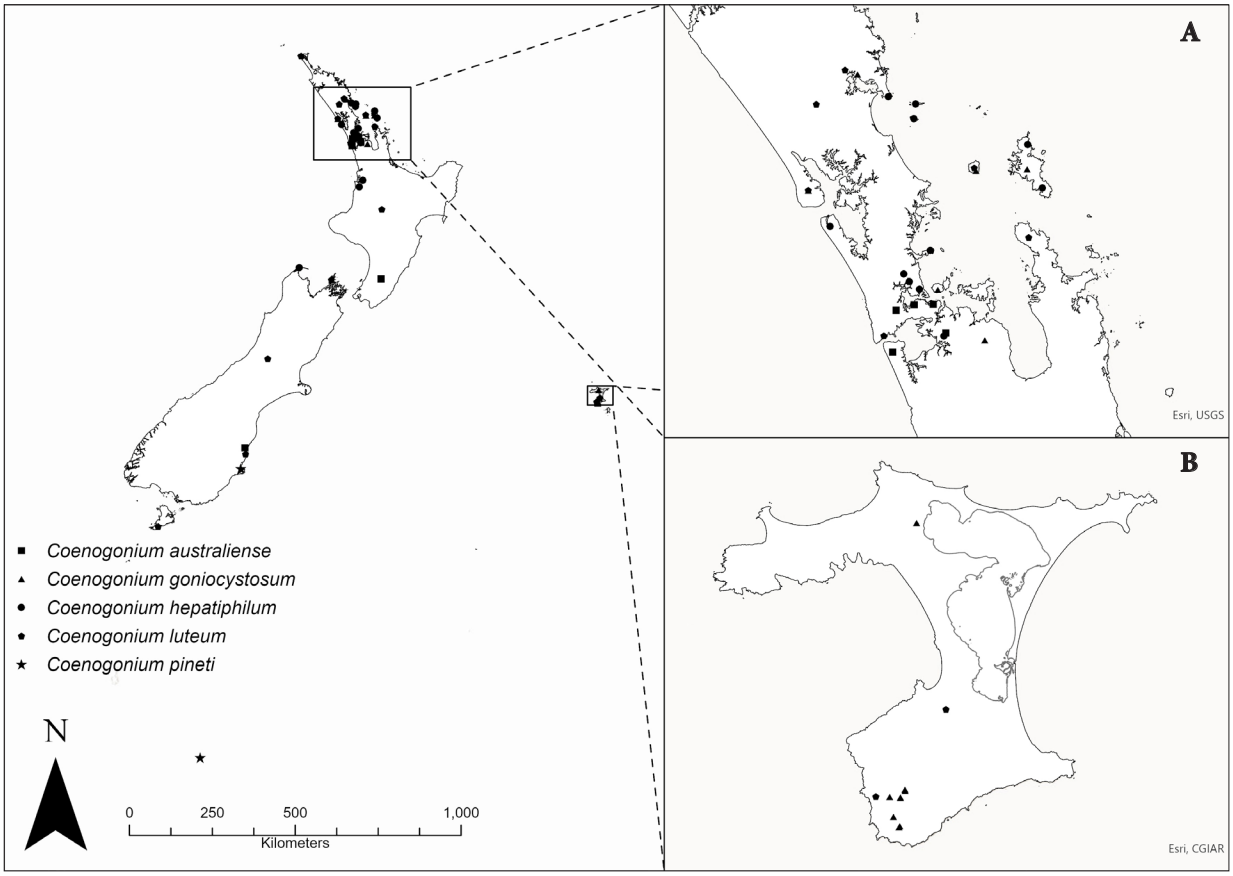


Fig. 2. Map showing the distribution of the representative specimens of taxa discussed. A: locations in Te Tai Tokerau | Northland, Tīkapa Moana | Hauraki Gulf, Tāmaki Makaurau | Auckland; B: Rēkohu | Wharekauri | Chatham Island

Ranges, Mount Donald McLean, *G.C. Hayward & B.W. Hayward s.n.*, 1977, AK161835; Coromandel, Mount Moehau, *B.W. Hayward H39.70*, August 1974, AK154523; Taumaranui, Kuratau, *J.K. Bartlett s.n.*, 10 July 1981, AK193282. TE WAIPOUNAMU | SOUTH ISLAND: Marlborough Sounds, Rangitoto ki te Tonga | D'Urville Island, *B.W. Hayward & G.C. Hayward s.n.*, 4 January 1998, AK209354; Canterbury, Arthurs Pass, *A.E. Wright 9313*, 5 November 1989, AK187405; Trotter's Gorge, Central Otago, *T. Aldridge s.n.*, 31 October 2025, UNITEC15123. AOTEAROA | NEW ZEALAND, RAKIURA | STEWART ISLAND: Port Pegasus, Islet Cove, *B.W. Hayward s.n.*, 3 February 1989, AK187063. CHATHAM ISLANDS, RĒKOHU | WHAREKAURI | CHATHAM ISLAND: Kopi Bush, *C.J. James s.n.*, 12 February 2024, UNITEC14276.

Recognition. *Coenogonium luteum* is a cosmopolitan species that in Aotearoa was treated in a broad sense by Galloway (2007). Here, *C. luteum* can be distinguished from other *Coenogonium* species in Aotearoa by the often thin, varnish-like thallus, larger dark orange apothecia (0.5–3.5 mm) that become undulate and irregular in shape, and ascospores smaller than 11 µm in length. *Coenogonium australiense* is the most similar species, but it can be distinguished from *C. luteum* by its slightly thicker hymenium (60–100 µm compared with 50–75 µm), a thinner basal exciple (60–110 µm compared with 100–150 µm) and larger ascospores (often longer than 12 µm). In Aotearoa, this species is usually found on tree fern trunks, as opposed to *C. australiense* which is found on a range of bark substrates.

Distribution. Indigenous to Aotearoa, where it is known from Te Ika-A-Māui | North, Te Waipounamu | South, and Chatham Islands (Fig. 2). It is also known from mainland Australia and Tasmania (Kantvilas et al., 2018), Asia, Europe, and North and South America (Cannon et al., 2021).

Ecology. In Aotearoa, it is mostly found on trunks of the tree fern, ponga (*Alsophila dealbata* (G. Forst.) Corda), occasionally on wheki (*Dicksonia squarrosa* (G. Forst.) Sw.), or at the base of rawirinui (*Kunzea robusta* de Lange & Toelken), forming large patches covering often the shaded side of the trunk. It has been found on tree ferns in suburban areas and one collection from exposed woven weed mat in a native forest in Albany (Fig. 1D, UNITEC14467). Where *C. luteum* is found, it is locally common, often in shaded to partly shaded areas. In Tasmania, the species is known also to grow on shaded rocks (Kantvilas et al., 2018).

Conservation status. Prior to the separation of species here, *Coenogonium luteum* was assessed in the broad sense as "Not Threatened" and "Secure Overseas" by de Lange et al. (2018), a threat status we suggest be maintained.

Coenogonium australiense Kantvilas & Lücking, Lichenologist 50 (5): 575 (2018)

Mycobank accession number: 827258

Type: Tasmania, Little Fisher River, –41°45', 146°20' on *Nothofagus cunninghamii* (Hook.) Oerst. in rainforest, 880 m, October 1984, G. Kantvilas 691/84; type not seen (*holotype* HO, *isotypes* B, F)

Description (Fig. 3). Corticolous. ***Thallus*** crustose, ecorticate grey-green when dry, dark green to brown-green when moist, 50 to 150 µm thick, smooth to verrucose, often reduced forming continuous or irregular patches to c. 10cm wide. ***Prothallus*** absent. ***Photobiont*** green, globose to oblong, 7–18 × 7–14 µm. ***Apothecia*** sessile, 0.5–2.5 mm in diam., when young: disc convex, pale orange, margin, slightly involute, cream, when mature: disc slightly convex to plane, pale orange, margin persistent, cream or rarely concolorous with disc. ***Proper excipulum*** 60–110 µm basally, 50–80 µm laterally. ***Hypothecium*** hyaline, 40–80 µm. ***Hymenium*** hyaline, 60–100 µm. ***Paraphyses*** 1.0–1.5 µm thick, with apices 3–5 µm thick. ***Asci*** cylindrical, 50–70 × 5–8 µm. ***Ascospores*** 8 per ascus, uniseriate, narrowly ellipsoidal to fusiform, 1-septate, occasionally constricted at septum, 8–14 × 2.5–5.9 µm. ***Pycnidia*** not seen in material from Aotearoa, described from Australian material as immersed, visible as minute, somewhat paler swellings in the upper surface of the thallus. ***Conidia*** not seen, described as ellipsoid, 3–5 × 1–3 µm.

Representative specimens. TE IKA-A-MĀUI | NORTH ISLAND: Manukau Heads, Awhitu, *P.J. de Lange 14616, M. Prasad, & P. Bell-Butler*, 22 January 2020, UNITEC11428; Kohimarama, Kepa Bush, *A.J. Marshall s.n., D.J. Blanchon, & C. Reynolds*, 20 March 2015, UNITEC7259; Auckland, Henderson, Opanuku Stream, *P.J. de Lange s.n. & D.J. Blanchon*, 24 March 2017, UNITEC9103; Auckland, Western Springs, *M. Ford s.n.*, 20 July

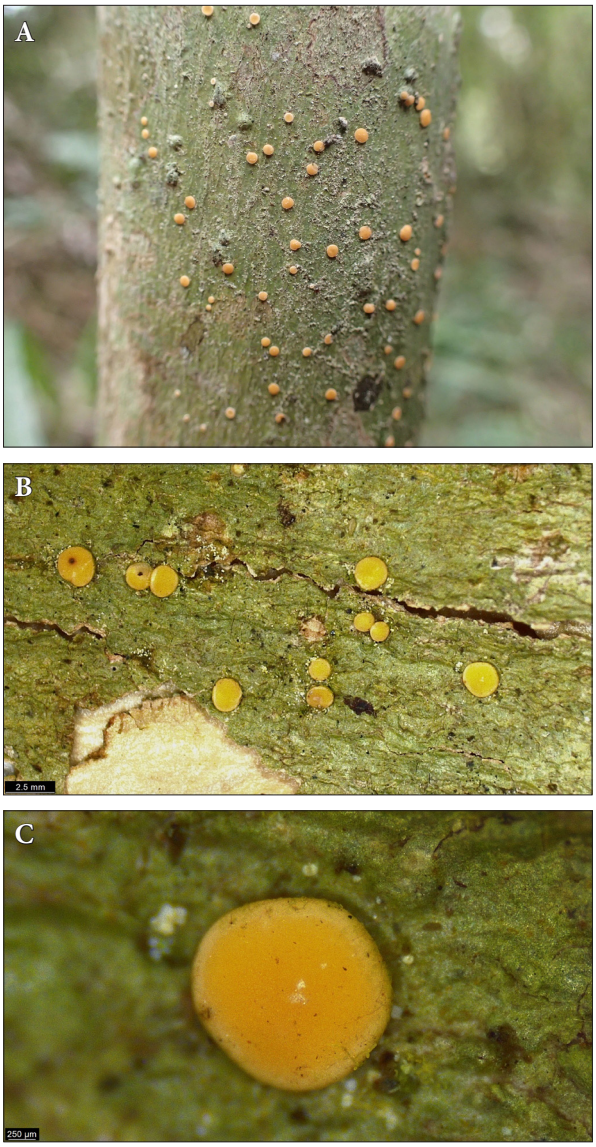


Fig. 3. *Coenogonium australiense.* A: Habit of *C. australiense* growing on *Myrsine australis* on Swallow Track, Herbert Forest, Otago, Te Waipounamu | South Island, Aotearoa | New Zealand. Photo: Liadan Dickie, 02.11.2025 (UNITEC15121) (iNaturalist: https://www.inaturalist.org/observations/324437150); B: Close up image of thallus and apothecia, after drying (UNITEC15121); C: Close up of apothecium (UNITEC15121)

2019, UNITEC10907; Auckland, Manurewa, Botanic Gardens, *H. Nessia s.n. & W.F. Kooperberg*, 30 March 2012, UNITEC5216. TE WAIPOUNAMU | SOUTH ISLAND: Herbert Forest, Otago, *C. James s.n. & L. Dickie,* 2 November 2025, UNITEC15121.

Recognition. Of the species discussed in this article, *C. australiense* is most similar to *C. luteum*, from which it is readily distinguished by the thicker often verrucose thallus, smaller apothecia that remain plane (0.5–2.5 mm compared with 0.5–3.5 mm becoming undulate in *C. luteum*), slightly thicker hymenium (60–100 µm compared with 50–75 µm), thinner basal exciple (60–110 µm compared with 100–150 µm) and larger ascospores (8–14 × 2.5–5.0 µm compared with 7–11 × 2–4 µm). Galloway (2007) included spore measurements of 6–14 × 2–4 µm for *C. luteum*, and Kantvilas et al. (2018) indicate the likelihood that those specimens with the smaller spore measurements might be better accommodated in *C. australiense*.

Distribution. This species has been collected from the western portion of the Auckland Region and the Wairarapa Region of Te Ika-a-Māui | North Island, with a further collection from central Otago, Te Waipounamu | South Island (Fig. 2). We suspect that this pattern is an artifact of collector interests and residences rather than a natural pattern. *Coenogonium australiense* is also known from Tasmania and South Australia (Kantvilas et al., 2018).

Ecology. This species has been recorded from a greater diversity of phorophytes than *C. luteum*, these include the bark of manawa / mangrove (*Avicennia marina* subsp. *australasica* (Walp.) J. Everett), mapou (*Myrsine australis* (A. Rich.) Allan), rawirinui, rohutu (*Lophomyrtus obcordata* (Raoul) Burret), titoki (*Alectryon excelsus* Gaertn. subsp. *excelsus*), and totara (*Podocarpus totara* G. Benn. ex D. Don var. *totara*).

In Tasmania, *C. australiense* is known from a variety of habitats, including cool temperate rainforest and drier areas of sclerophyllous vegetation (Kantvilas et al., 2018). It has also been collected as saxicolous from sheltered dolerite boulders, in dry eucalypt forest (Kantvilas et al., 2018), but in Aotearoa it has only been recorded as corticolous.

Conservation status. As few collections have been identified as this species in Aotearoa, we suggest it could be regarded as a "Data Deficient" species. As it is described and well known from Tasmania and Southern Australia (Kantvilas et al., 2018), we also suggest the status of "Secure Overseas".

Coenogonium goniocystosum C.J. James sp. nov.

Mycobank accession number: 863462

Holotype: NEW ZEALAND. Chatham Islands, Rēkohu | Wharekauri | Chatham Island, Southern Tablelands, track to Lake Rangatapu, Waipurua Valley Headwaters, –44.107560, –176.599290, 259 m a.s.l., *P.J. de Lange CH4647 & D. Boyle*, 26 December 2025. Abundant on *Hymenophyllum demissum* (G. Forst.) Sw. growing on forest floor, on logs, rocks and on the lower trunks of trees in dense tarahinau (*Dracophyllum arboreum* Cockayne), mataire (*Myrsine chathamica* F. Muell.) with karamu hikoa (*Coprosma chathamica* Cockayne) and hoho (*Pseudopanax chathamicus* Kirk) forest. [iNaturalist NZ Species Identification Number: 332319696 (https://www.inaturalist.org/observations/332319696)]. UNITEC15158, isotype AK.

Diagnosis. Distinguished from other species of *Coenogonium* by the thallus, composed of goniocysts, apothecia that are convex at maturity and spores that measure 10–15 × 4–5 µm.

Description (Fig. 4). Foliicolous / corticolous. ***Thallus*** thin, grey, granular to dust-like when dry, dark grey-green gelatinous when wet, continuous spreading to c. 5cm, consisting of abundant and evenly dispersed globose goniocysts over the hypothallus. ***Hypothallus*** grey, 50–150 µm thick, hyphae 1.0–2.5 µm wide. ***Goniocysts*** evenly scattered in close-set aggregates, 15–70(–100) µm diam., outer fungal cells paraplectenchymous, 2–5 µm wide. ***Photobiont*** green, cells globose, 2.5–10(–15) diam. ***Apothecia*** sessile, 0.5–1.0–1.8 mm, when young; disc convex, orange, margin often in rolled, cream to pale orange, when mature; disc convex, orange, margin decurved beneath disc, often becoming irregular in shape, cream. ***Proper excipulum*** 50–100 µm thick basally, 50–90 µm thick laterally. ***Hypothecium*** hyaline, 50–75µm. ***Hymenium*** hyaline, 75–100 µm. ***Paraphyses*** unbranched, colourless, 1.0–2.5 µm wide, apices swollen to 3–5 µm. ***Asci*** cylindrical, 40–75 × 7.5–12.5 µm. ***Ascospores*** 8 per ascus, uniseriate, ellipsoidal, 1-septate, sometimes indistinctly septate, 10–15 × 4–5 µm. ***Pycnidia*** not seen.

Representative specimens. TE IKA-A-MĀUI | NORTH ISLAND: Mangonui, Herekino, *J.K. Bartlett*, 1975-1985, AK199555; Whangarei, Onerahi, *J.K. Bartlett s.n.*, 21 July 1981, AK193283; North Kaipara, Tapu Bush, *A.E. Wright 11574*, 23 May 1991, AK202392; Te Hauturu-o-Toi | Little Barrier Island, *B.W. Hayward s.n.*, May 1990, AK247957; Aotea | Great Barrier Island, *B.W. Hayward s.n.*,

January 1984, AK178105; Aotea | Great Barrier Island, *B.W. Hayward 35*, May 1990, AK247960; Auckland, Rangitoto Island, *C.J. James s.n.*, 23 May 2024, UNITEC 14466; Auckland, Hunua Ranges, *A.J. Marshall s.n.*, 21 October 2024, UNITEC 14979. CHATHAM ISLANDS, RĒKOHU | WHAREKAURI | CHATHAM ISLAND: Nikau Bush, *P.J. de Lange CH4653*, 29 January 2026, UNITEC15165; Tuku Nature Reserve, Tuku-a-Tamatea, *P.J. de Lange CH3039*, 10 February 2019, UNITEC11475; Tuku Nature Reserve, Timihonga Catchment, *P.J. de Lange CH4644 & D. Boyle*, 26 December 2025, UNITEC15155; Tuku Nature Reserve, Timihonga Catchment, *P.J. de Lange CH4646 & D. Boyle*, 26 December 2025, UNITEC15156; Tuku Nature Reserve, Igloo Track, *P.J. de Lange CH4648 & D. Boyle*, 6 January 2026, UNITEC15159; Tuku Nature Reserve, Igloo Track, *P.J. de Lange CH4649*, 6 January 2026, UNITEC15160; Tuku Nature Reserve, Tuku-a-tamatea River, *P.J. de Lange CH4649 & D. Boyle*, 6 January 2026, UNITEC15161; Tuku Nature Reserve, Tuku-a-tamatea River, *P.J. de Lange CH4651 & D. Boyle*, 6 January 2026, UNITEC15162; Tuku Nature Reserve, Tuku-a-tamatea River, *P.J. de Lange CH4652 & D. Boyle*, 6 January 2026, UNITEC15163; Southern Tablelands, Waipurua Valley, *P.J. de Lange CH4646 D. Boyle*, 26 December 2025, UNITEC15157.

Recognition. In Aotearoa, *C. goniocystosum* is easily distinguished by the thallus, which is comprised of goniocysts, evident when the thallus is hydrated and viewed under a 10× hand lens. Globally, no other species in *Coenogonium* are known to possess goniocysts. Other distinguishing features include the convex mature apothecia, a thick hymenium (75–100 µm) and large 0–1-septate ascospores (10–15 × 4–5 µm), though independently these overlap with other species.

Distribution. Possibly endemic to Aotearoa | New Zealand. *Coenogonium goniocystosum* is known from the greater Auckland Region, Te Ika-a-Māui | North Island and from Rēkohu | Chatham Island in the Chatham Islands (Fig. 2). There is also a credible iNaturalist record (https://inaturalist.nz/observations/236447393) of this species growing on the fronds of *Hymenophyllum demissum* on Rakiura | Stewart Island. This pattern suggests this species is wide ranging and that it will undoubtedly in time be found throughout the Aotearoa Archipelago.

Ecology. *Coenogonium goniocystosum* is mostly known from shaded sites where it is foliicolous on six species of filmy fern (*Hymenophyllaceae*): irirangi (*Hymenophyllum demissum*), matua mauku (*H.*



Fig. 4. *Coenogonium goniocystosum.* A: Habit of *C. goniocystosum* type specimen growing on *Hymenophyllum demissum* in dense tarahinau (*Dracophyllum arboreum*), at the type locality Waipurua Valley Headwaters, Southern Tablelands, Rēkohu | Chatham Island. Photo: Peter de Lange (UNITEC15158) (iNaturalist: https://www.inaturalist.org/observations/332319696); B: Close up of thallus and mature apothecia, showing granular thallus made of goniocysts, collected from *Kunzea robusta* Hunua Ranges, Tāmaki Makaurau | Auckland, Aotearoa | New Zealand (UNITEC14980); C: Close up of thallus and apothecia, individual goniocysts evident (UNITEC14980)

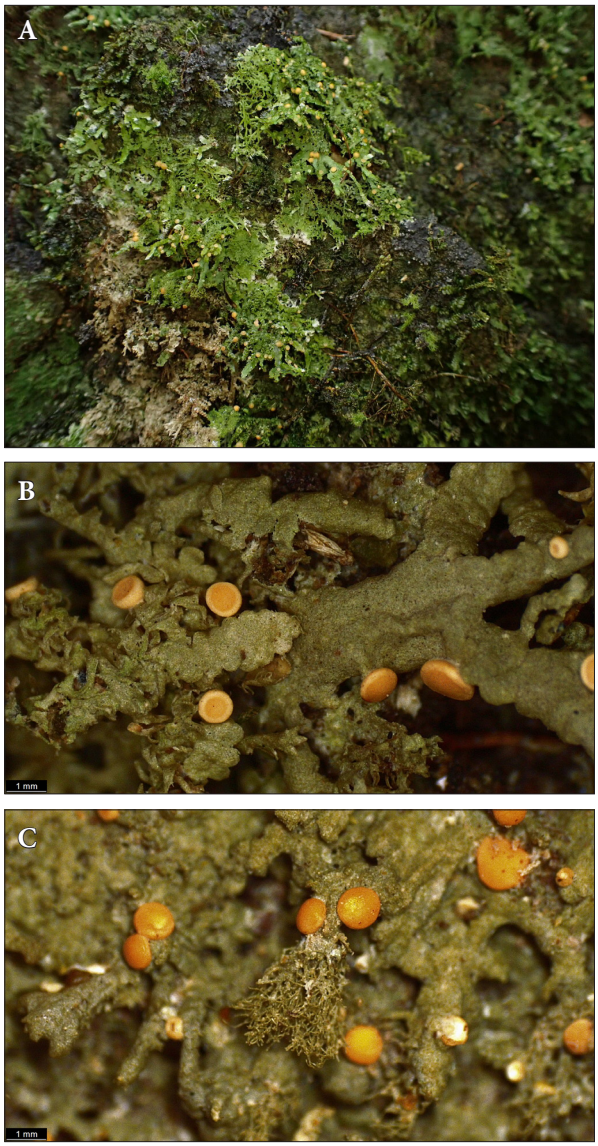


Fig. 5. *Coenogonium hepatiphilum*. A: Habit of *C. hepatiphilum*, growing over leafy liverworts on a shaded boulder, Peach Cove, Whangarei Heads, Te Ika-A-Maui | North Island, Aotearoa | New Zealand. Photo: Marley Ford, 15.07.2024 (UNITEC14470) (iNaturalist: https://www.inaturalist.org/observations/229420370); B: Close up of thallus and apothecia (UNITEC14470); C: Close up of thallus developing into caespitose filaments

dilatatum (G. Forst.) Sw.), *H. flabellatum* Labill., konehu (*H. nephrophyllum* Ebihara & K. Iwats.) and *H. multifidum* (G. Forst.) Sw. There is also a single collection from bark of rawirinui (*Kunzea robusta*) (Hunua Range: UNITEC 14979), suggesting that it should be looked for on other substrates. Judged by herbarium evidence and field work on the Chatham Islands, the preferred phorophyte is irirangi but this *Coenogonium* is a species which would be very easily overlooked if growing on other substrates such as bark.

Conservation status. Since its recognition by the senior author, specific searches for this species have found it to be locally common, e.g., on the Chatham Islands. The species has been found misidentified as *C. luteum* in Aotearoa | New Zealand herbaria and iNaturalist NZ (https://inaturalist.nz). Accordingly, we suggest that *Coenogonium goniocystosum* is probably best considered as "Not Threatened" but qualified as "DPR", [Data Poor Recognition], "DPS" [Data Poor Population Size] and "DPT" [Data Poor Trend] as the species is not easily recognised when colonising bark, and we have no qualitative data on the population sizes and trends beyond that the species is found in a range of secure sites spanning the country.

Etymology. The epithet "*goniocystosum*" refers to the distinctive thallus of this species, consisting of goniocysts that become obvious when hydrated and observed under a microscope.

Coenogonium hepatiphilum C.J. James sp. nov.

Mycobank accession number: 863463

Holotype: NEW ZEALAND. North Island, Northland, Auckland, Glorit, Mataia QEII, –36.491999, 174.425846, *P.J. de Lange 15846*. 20 September 2025, East of Kauri Track, on root mat of taraire (*Beilschmiedia tarairi* (A. Cunn.) Benth. & Hook.f. ex Kirk) in stream bed (UNITEC15109).

Diagnosis: Distinguished from other species of *Coenogonium* by the bryophilous / corticolous habit, an occasional white prothallus, a crustose thallus developing into pilose filaments, convex apothecia, and ascospores that measure 12–18 × 2–5 µm.

Description (Fig. 5). Bryophilous / corticolous, mostly found growing directly on bryophytes (mosses and leafy liverworts), also covering the associated non-bryophilous substratum: bark or rock, occasionally found directly on bark. ***Thallus*** crustose, ecorticate, grey-green when dry, green, gelatinous when moist, 90–150 µm thick, continuous, spreading to c. 10 cm patches, encrusting and reflecting the texture of the substratum, apices of the thallus occasionally developing into pilose filaments, to 5 mm long, 7–10 µm wide, rarely branched. ***Prothallus*** occasionally present, as a 150–300 µm wide white byssoid extension of

fungal hyphae to the edge of the thallus. ***Photobiont*** green, filamentous, 5–15 µm wide. ***Apothecia*** sessile, 0.8–2.0 mm, when young: disc plane, pale yellow-orange, reduced, margin rarely inrolled, cream, when mature: disc plane to convex, pale yellow-orange to orange, margin often decurved beneath disc, cream, rarely concolorous with disc. ***Proper excipulum*** 100–200 µm basally, 50–125 µm laterally. ***Hypothecium*** hyaline, 60–200 µm. ***Hymenium*** hyaline, 70–130 µm. ***Paraphyses*** unbranched, colourless, 1.0–2.5 µm wide, apices swollen to 2–5 µm. ***Asci*** cylindrical, 60–90 × 7–10 µm. ***Ascospores*** 8 per ascus, uniseriate or biseriate, ellipsoid, 1-septate, 12–18 × 2–5 µm. ***Pycnidia*** not seen.

Representative specimens. TE IKA-A-MĀUI | NORTH ISLAND: Whangarei, Peach Cove, *C.J. James s.n. & M.Ford*,14 July 2024, UNITEC14470; Northland, Taranga | Hen Island, *A.E. Wright 10829*, 29 December 1990, AK201104; Northland, Lady Alice Island, *B.W. Hayward 514*, January 1982, AK246878; Aotea | Great Barrier Island, Tryphena *B.W. Hayward*, January 1984, AK178104; Aotea | Great Barrier Island, Rangiwhakea Bay, *B.W. Hayward s.n.*, 5 November 1984, AK178106; Rodney, Coatesville, *A.E. Wright 7336*, 3 November 1985, AK171666; South Kaipara, Woodhill Forest, *D.B. Rogan 458*, 15 July 2000, AK248697; Whangaparaoa, Shakespear, *P.J. de Lange s.n. & C.J. James*, 18 October 2024, UNITEC15108; Auckland, Schnapper Rock, *C.J. James s.n.*, 20 June 2024, UNITEC15107; Auckland, North Cote, Smith's Bush, *BioBlitz (s.col.)*, 5 April 2008, UNITEC3970; Auckland, Manurewa, *W.F. Kooperberg s.n.*, 31 March 2012, UNITEC5217; Waitomo, Marakopa Falls, *A.E. Wright 9142*, 29 October 1989, AK187087; Otorohanga, Te Kauri Scenic Reserve, *A.E. Wright 9074*, 27 October 1989, AK187074;. TE WAIPOUNAMU | SOUTH ISLAND: Nelson, Whatariki, *P.J. de Lange14835 & T.J.P. de Lange*, 30 November 2019, UNITEC12199; Nelson, Whatariki, *P.J. de Lange 14817 & T.J.P. de Lange*, 30 November 2019, UNITEC12181.

Recognition. *Coenogonium hepatiphilum* is easily distinguished from the other species discussed in this article, identified by the bryophilous (mainly hepaticolous) habit, the white prothallus, filamentous algae as the photobiont, thallus occasionally filamentous, large (0.8–2.0 mm) apothecia that are often convex when mature, and the large ascospores (12–18 × 2–5 µm). *Coenogonium zonatum* (Müll. Arg.) Kalb & Lücking is the only other species in Aotearoa with a white marginal prothallus (Galloway, 2007), distinguished from *C. hepatiphilum* by its foliicolous habit, smaller apothecia (0.25–0.5 mm) and smaller ascospores (6–12 × 2.5–4.5 µm). The Australian species, *C. bryophilum* Kalb & Aptroot, has a similar habit in overgrowing bryophytes, though differs with having a strictly crustose thallus lacking a prothallus, and smaller spores (7–10 × 2–3 µm) (Kalb, Aptroot, 2018). *Coenogonium epiphyllum* Vain has a thallus that resembles this species (mainly crustose, developing algal filaments), aside from its tropical distribution can be distinguished by its foliicolous habit and significantly small spores (5–7 × 1.8–2.5 µm) (Kalb et al., 2016).

Distribution. Possibly endemic to Aotearoa. Currently known from Te Ika-a-Māui | North Island (Whangarei, Auckland Region, Hauraki Gulf), to the northwest of the Te Waipounamu | South Island, at Whatariki (Fig. 2). Again, this pattern is likely an artifact of collector interests and location rather than a natural pattern.

Ecology. *Coenogonium hepatiphilum* has been collected on *Porella amoena* (Colenso) Martin, *Spruceanthus olivaceus* (Hook.f. & Taylor) X.Q. Shi, R.L. Zhu & Gradst., *Radula* Dumort sp. and other leafy liverworts; taxa that are themselves epiphytic on substrates such as kahikatea (*Dacrycarpus dacrydioides* (A. Rich.) de Laub.), kiekie (*Freycinetia banksii* A. Cunn.), mapou (*Myrsine australis* (A. Rich.) Allan), porokaiwhiri (*Hedycarya arborea* J.R. Forst. & G. Forst.), taraire and rock. The thallus often spreads to cover surrounding bryophytes, substratum, and in one case the lichen *Pseudocyphellaria dissimilis* (Nyl.) D.J. Galloway & P. James. Commonly associated mosses include *Camptochaete pulvinata* (Hook.f. & Wils.) Jaeg., *Echinodiopsis hispida* (Hook.f. & Wilson) S. Olsson, Enroth & D. Quandt and *Thuidiopsis sparsa* (Hook.f. & Wilson) Broth. Often this species is collected in heavy or partial shade, likely reflecting the habit of the bryophytes, though collections from forest located in urban Albany (Auckland) suggest this species is not restricted to areas of dense native vegetation.

Conservation status. The species has a wide distribution spanning the North and South Islands, but it is sparse in the localities where it is known. Hence, we suggest this species could be treated as "At Risk - Naturally Uncommon".

Etymology. The epithet "*hepatiphilum*" refers to this species' habit of mainly growing over leafy liverworts (see above).



Fig. 6. *Coenogonium pineti.* A: Close up of thallus and apothecia of *C. pineti*, collected from bark of rawirinui, Orokonui Ecosanctuary, Te Waipounamu | South Island (OTA62069); B: Close up of thallus and apothecia (OTA62069)

Coenogonium pineti (Schrad. ex Ach.) Lücking & Lumbsch, *Mycologia* 96: 290 (2004) ≡ *Lecidea pineti* Schrad. ex Ach., Lichenogr. Univ.: 195 (1810) ≡ *Dimerella pineti* (Schrad. ex Ach.) Vězda, Lich. Sel. Exsicc. 52: 1279 (1976); (!BM000500426 — lectotype) type not handled, image seen.

Mycobank accession number: 488113

Description (Fig. 6). Corticolous. ***Thallus*** crustose, ecorticate, pale grey green when dry, dark green, often inconspicuous when wet, smooth, thin, to 30 µm thick, forming irregular patches to c. 5 cm, in material seen mostly absent. ***Prothallus*** absent. ***Photobiont*** green, cells oblong to subglobose, 10–20 × 7–12 µm. ***Apothecia*** sessile, 0.2–0.4 mm wide, when young: disc plane light yellow-pink to pale flesh coloured margin in rolled, white to cream, when mature: disc plane to subconcave, light yellow-pink to pale flesh coloured, plane, margin white to cream, often in rolled. ***Proper excipulum*** 40–70 µm thick basally, 30–60 µm thick laterally. ***Hypothecium*** hyaline, 20–60 µm thick. ***Hymenium*** hyaline, 70–100 µm thick; asci 60–75 × 5–7 µm. ***Paraphyses*** 1.0–1.5 µm thick, with apices swollen to 2–4 µm thick. ***Asci*** narrowly cylindrical, 45–70 × 5–7 µm. ***Ascospores*** uniseriate, fusiform to ellipsoidal, 1-septate, rarely indistinct, 8–12 × 3–5 µm. ***Pycnidia*** not seen in material from Aotearoa, exceedingly rare in Tasmanian specimens (Kantvilas et al., 2018), visible as minute, pale swellings in the upper surface of the thallus. ***Conidia*** not seen, described as simple, oblong, mostly slightly constricted in the centre, 3–5 × 1–2 µm.

Representative specimens. TE WAIPOUNAMU | SOUTH ISLAND: Orokonui Ecosanctuary, Dunedin, *J. Steel s.n.*, 27 August 2011, OTA62069. MOTU IHUPUKU | CAMPBELL ISLAND: Mt Beeman, *s.col.*, October 1958, OTA52936.

Recognition. *Coenogonium pineti* is readily distinguished from the other species discussed here by its minute (0.2–0.5 mm diam.) pink apothecia. Compared with other taxa in Aotearoa, *C. pineti* is most similar to *C. lutescens* (Vězda & Malcolm) Malcolm, as both have similar small apothecia, though *C. pineti* can be differentiated from *C. lutescens* by the distinctly pink-orange apothecia (compared with yellow), and slightly larger ascospores (9–14 × 3.0–4.5 µm compared with 7–11 × 2.7–4.5 µm) that are strictly uniseriate (as opposed to strictly biseriate) in the ascus.

Kantvilas et al. (2018) state that Tasmanian material of *C. pineti* often has larger spores than European material, though it lacks any other morphological characters to separate it as a distinct species. Moreover, several collections of *C. pineti* from Aotearoa are of another undescribed taxon (Kantvilas et al., 2018), indicating that further collection of this species' variation is needed in Aotearoa.

Distribution. Indigenous to Aotearoa: currently known from Aotearoa herbaria from two collections made from Dunedin, Te Waipounamu | South Island and Motu Ihupuku | Campbell Island (Fig. 2). We are also aware of a specimen of *C. pineti* (L031247) held in Uppsala University, Museum of Evolution Herbarium (UPS), collected from black beech (*Nothofagus solandri* (Hook.f.) Oerst.) in a southern-beech

(*Nothofagus* Blume) forest, Waimakariri, Canterbury (Te Waipounamu | South Island) by L. Tibell in 1980 (Myrdal, 2025). Though this specimen has not been viewed by the authors of this article, it is likely to be *C. pineti*. It is unlikely that this species is as uncommon as these records imply. Rather we suspect that it has been overlooked because it is inconspicuous. *Coenogonium pineti* was described from Europe, and is widespread in the Northern Hemisphere (India: Adhikari et al., 2025; China: Wu et al., 2018) and the Southern Hemisphere: South America (Brazil: de Oliveira Lima et al., 2023), and recorded from south-eastern Australia and Tasmania (Kantvilas et al., 2018).

Ecology. The Dunedin specimen is said to have been collected from rawirinui, growing with *Chiloscyphus muricatus* (Lehm.) J.J. Engel & R.M. Schust. in a damp understorey. There is no ecological information associated with the Motu Ihupuku | Campbell Island specimen. In Tasmania *Coenogonium pineti* is reported from trunks of old *Nothofagus* trees (Kantvilas et al., 2018), the same habitat as reported for the Tibell specimen from Canterbury. Deliberate searching of *Nothofagus* trees in Aotearoa could be illuminating.

Conservation status. We suggest *C. pineti* could be designated "Data Deficient" as it is known from few collections in Aotearoa. To this we suggest adding the qualifier as "Secure Overseas".

Coenogonium implexum Nyl., Ann. Sci. Nat. Bot., sér. 4, 16: 92 (1862), Australia, Victoria, '*supra cortices et muscos*', *Dr. Müller [F.J.H. von Mueller]*: type not seen (H-NYL22093 -holotype; S, MEL -isotypes)

Mycobank accession number: 371312

Remarks. *Coenogonium implexum* sensu Galloway (2007) is a common species throughout Aotearoa (North, South and Chatham Islands) growing on a range of bark substrates. It is easily recognized by the felt-like thallus, comprised of pannose filaments, producing scattered orange-yellow apothecia, with ascospores 7–12 × 2–4 µm. Based on morphological variability observed, it is likely that there are more taxa in Aotearoa that currently sit within the broad sense of this species, some with differing filamental thallus shape (pannose compared with prostrate, see Rivas Plata et al. (2006) for examples) or longer spores (to 15 µm long). Further collections are needed to fully understand the variation and the potential to segregate other taxa.

= ***Coenogonium tomentosum*** Müll. Arg., syn. nov. **(Fig. 7)**, J. Linn. Soc. Bot., 32:206 (1896); type: New Zealand, on bark, *Colenso C.1615*, (**!BM001097080-type**). However, St. George (2009) noted that Colenso 1615 was in reference to a "large grass" Colenso had collected, with no date and no location.

Mycobank accession number: 383152

Notes. These collections were made between 1847 and 1848, "nr. Patea", referring to the Mokai Patea Range, of the west Ruahine Ranges (St. George, 2009). Colenso walked these ranges between 1847 and 1852, likely collecting what would later be the type of *C. subtorulosum* Müll. Arg. (C.1614) and *C. tomentosum* Müll. Arg. (Müller, 1896). Galloway (1985) synonymized *C. subtorulosum* with *C. implexum*, apparently overlooking the type of *C. tomentosum*. *Coenogonium tomentosum* was described with a dense tomentose [pannose], filamental thallus, with orange apothecia 0.25–1.0 mm in diameter, and 8 ascospores per ascus, ascospores 1-septate, fusiform, 10–11 × 2.5 µm (Müller, 1896): these measurements overlapping with the description of *C. implexum* (Galloway, 1985, 2007; Kantvilas et al., 2018). The holotype of *C. tomentosum* was later identified as *C. implexum* by A. Vězda in 1970 (Fig. 7) but no formal synonymization was made; hence, we officially synonymize the name here.

Aotearoa *Coenogonium*

Following the revision of the *C. luteum* complex above, *Coenogonium* in Aotearoa is now represented by 12 species. Nonetheless, the genus needs a full revision, especially of those taxa that remain relatively little-known (*C. lutescens* and *C. rubrifuscum* (Vězda & Malcolm) Malcolm). These species were stated as only known from the type locality by Galloway (2007). While further collections have been made for *C. lutescens*, expanding the taxon's range to Australia whilst broadening the species description (Kantvilas et al., 2018), *C. rubrifuscum* remains poorly known. Furthermore, species discussed here, especially *C. australiense* and *C. pineti* (see above), will likely require further revision in Aotearoa. We recommend further targeted collections of the genus in Aotearoa paired with a comprehensive morphological and molecular phylogenetic study, to fully understand species limits.



Fig. 7. *Coenogonium tomentosum* (synonymized here with *C. implexum*). A: Type specimen of *C. tomentosum* (now a synonym of *C. implexum*), C.1615 BM001097080, Natural History Museum (BM). Photo: Muhammad Usman, 09.09.2025; B: Determination slip of the type specimen of *C. tomentosum* C.1615 BM001097080, Natural History Museum (BM), identified as *C. implexum* in 1970 by the late Antonín Vězda (1920–2008)

Key to *Coenogonium* in Aotearoa | New Zealand (adapted from Galloway, 2007)

1. Thallus wholly filamental, isidiate, or possessing goniocysts; not appearing crustose . . . . . 2.
– Thallus wholly or partly crustose (may sometimes develop filaments), patchy or inconspicuous . . . 4.
2. Thallus felt-like, consisting of pannose filaments . . . . . *C. implexum*
– Thallus isidiate or possessing goniocysts . . . . . 3.
3. Thallus isidiate . . . . . *C. fruticulosum*
– Thallus possessing goniocysts . . . . . *C. goniocystosum*
4. Thallus foliicolous, never corticolous . . . . . 5.
– Thallus corticolous or bryophyllous, never foliicolous . . . . . 9.
5. Apothecia epiphyllous . . . . . 6.
– Apothecia hypophyllous, rarely epiphyllous . . . . . 8.
6. Thallus without a marginal prothallus . . . . . 7.
– Thalli with a prominent, thick, white, marginal prothallus; apothecia 0.25–0.5 mm diam., brick-red; hymenium 45–65 µm tall; ascospores 6–12 × 2.5–4.0(4.5) µm . . . . . *C. zonatum*
7. Apothecia 0.2–0.28 mm diam., brick-red; hymenium 60–70 µm tall; ascospores 6–9 × 1.8–2.0 µm . . . . . *C. fuscescens*
– Apothecia 0.5–0.7 mm diam.; pale yellow-brown; hymenium to 45 µm tall; ascospores 6.5–7.5 × 1.8–2.0 µm . . . . . *C. queenslandicum*
8. Thalli with pale-yellow, tubular pycnidia . . . . . *C. flavum*
– Thalli without pycnidia . . . . . *C. fallaciosum*
9. Ascospores often longer than 14 µm; thallus bryophyllous . . . . . *C. hepatiphilum*
– Ascospores less than 14 µm long; thallus corticolous . . . . . 10.
10. Apothecia less than 0.5 mm in diam., pale yellow pink, pink, to flesh coloured, not orange . . . *C. pineti*
– Apothecia over 0.5 mm in diam., often up to 3 mm, yellow to orange, never pale yellow pink . . . . 11.
11. Apothecia 0.5–2.5 mm in diam., yellow-orange, margins never undulating, disc persistently plane; basal exciple 60–110 µm tall; ascospores 8–14 × 2.5–5.0 µm . . . . . *C. australiense*
– Apothecia 0.7–3 mm in diam., orange, margins undulating at maturity, disc becoming convex to plane; basal exciple 100–200 µm tall; ascospores 7–11 × 2–4 µm . . . . . *C. luteum*

Acknowledgements

We firstly acknowledge Tāmaki Paenga Hira | Auckland War Memorial Museum, for the opportunity to work on this genus, and the encouraging support from the Botany Department team. We are also grateful to OTA for allowing use of the Herbarium and viewing their specimens, with thanks to Pamela Cornes, Janice Lord, Katherine van der Vliet and Jessica Paul. We thank Dr. Gintaras Kantvilas for discussions regarding our investigations of the genus and information on Australian species. We would also like to thank Leilani Teague and Aliesha Waghorn for their hospitality and efforts while in Otago. We would also like to specifically thank Peter Wilson for suggesting the species epithet "*goniocystidium*" (here validated as *C. goniocystosum*). We are grateful to Liadan Dickie for photos and collections in the field, as well as Allison Knight and Tony Aldridge for collections. We would also like to thank Marley Ford for photos, leading the author on collecting trips and ecological knowledge. We also wish to acknowledge Dr. Muhammad Usman and the Natural History Museum (London) for images and clarification of their specimens. The authors thank Dr. Ryan de Regnier for identification of bryophytes associated with *Coenogonium* collections. We would like to thank Dave Boyle, for leading collecting trips through the Southern Tablelands, Rēkohu. We would also like to express our gratitude to the anonymous reviewers for their comments and feedback on the manuscript, and Dr. Vera Hayova as a journal editor. Finally, we thank Andrew Marshall for his unrelenting enthusiasm towards lichens, encouraging continued research on this genus and contributing to collections.

ETHICS DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

C.J. James https://orcid.org/0009-0008-0637-7139
D.J. Blanchon https://orcid.org/0000-0002-7931-5499
P.J. de Lange https://orcid.org/0000-0001-6699-7083

REFERENCES

Adhikari R.S., Ngangom R., Biswas S., Daimari R., Nayaka S. 2024. Two new species and additional records of *Coenogonium* (*Ostropales*: *Coenogoniaceae*) from India. *Nordic Journal of Botany*, 2025: e04376. https://doi.org/10.1111/njb.04376

Cannon P., Malíček J., Sanderson N., Benfield B., Coppins B., Simkin J. 2021. *Ostropales*: *Coenogoniaceae*, including the genus *Coenogonium*. *Revisions of British and Irish Lichens*, 3: 1–4. Available at: https://www.britishlichensociety.org.uk/sites/www.britishlichensociety.org.uk/files/Coenogoniaceae_0.pdf

de Lange P.J., Blanchon D., Knight A., Elix J., Lücking R., Frogley K., Harris A., Cooper J., Rolfe J. 2018. *Conservation status of New Zealand indigenous lichens and lichenicolous fungi, 2018*. *New Zealand Threat Classification Series*, 27. Wellington: Department of Conservation, 64 pp. Available at: https://www.doc.govt.nz/globalassets/documents/science-and-technical/nztcs27entire.pdf

de Oliveira Lima D., dos Santos L.A., Junior I.O., Aptroot A., Lücking R., da Silva Cáceres M.E. 2023. New species, new records, and a checklist of *Coenogonium* (*Ostropales*: *Coenogoniaceae*) from Brazil. *Plant and Fungal Systematics*, 68(2): 462–474. https://doi.org/10.35535/pfsyst-2023-0027

Ferraro L.I., Michlig A. 2013. New species and additional records of *Coenogonium* (*Ostropales*: *Coenogoniaceae*) from southern South America. *The Lichenologist*, 45(4): 497–504. https://doi.org/10.1017/S0024282913000169

Galloway D.J. 1985. *Flora of New Zealand lichens*. Wellington, New Zealand: Government Printer, 662 pp.

Galloway D.J. 2007. *Flora of New Zealand lichens*. Revised 2nd ed. Lincoln: Manaaki Whenua Press, 1006 pp.

Lücking R., Hodkinson B.P., Leavitt S.D. 2017. The 2016 classification of lichenized fungi in the *Ascomycota* and *Basidiomycota* — approaching one thousand genera. *The Bryologist*, 119(4): 361–416. https://doi.org/10.1639/0007-2745-119.4.361

Ludwig L.R. 2014. *Coenogonium fruticulosum*, a new isidiate species from New Zealand. *Australasian Lichenology*, 75: 18–27.

James C.J. 2024. A revision of Aotearoa / New Zealand *Coenogonium* (*Coenogoniaceae*), Lichenized Mycobiota underway at UNITEC — a progress report. *Trilepidea*, 246: 12–15.

Kalb K., Aptroot A. 2018. Six new lichen species from Australia. *Australasian Lichenology*, 82: 84–91. Available at: https://www.canbr.org.au/abrs/lichenlist/AL82.pdf

Kalb J., Boonpragob K., Kalb K. 2016. New *Coenogonium* species (*Ostropales*: *Coenogoniaceae*) from Thailand, new reports and a revised key to the species occurring in the country. *Phytotaxa*, 283(2): 101–122. https://doi.org/10.11646/phytotaxa.283.2.1

Kantvilas G. 2024. Two additions to the lichen genus *Coenogonium* in Tasmania, with a revised key. *Muelleria*, 42: 72–78. Available at: https://rbgv-prod-cdn-bpfbb4gthrfzb4ab.a03.azurefd.net/media/rdjlwqo4/muelleria-42-kantvilas-coenogonium-72-78.pdf

Kantvilas G., Rivas Plata E., Lücking R. 2018. The lichen genus *Coenogonium* in Tasmania. *The Lichenologist*, 50(5): 571–582. https://doi.org/10.1017/S0024282918000385

Malíček J., Coppins B., Palice Z., Vančurová L., Vondrák J., Sanderson N. 2023. *Coenogonium nimisii* – a new isidiate epiphytic lichen similar to *Porina rosei*. *The Lichenologist*, 55(5): 305–313. https://doi.org/10.1017/S0024282923000257

Müller J. 1896. Lichenes Colensoani a Rev. Colenso in Nova Zealandia. *Journal of the Linnean Society, Botany*, 32:197–208.

Myrdal M. 2025. *Botany (UPS)*. Museum of Evolution, Uppsala University. Occurrence dataset https://doi.org/10.15468/ufmslw. Available at: https://gbif.org/occurrence/351910049 (Accessed 06 December 2025).

Rivas Plata E., Lücking R., Aptroot A., Sipman H.J.M., Chaves J.L., Umaña L, Lizano D. 2006. A first assessment of the Ticolichen biodiversity inventory in Costa Rica: the genus *Coenogonium* (*Ostropales*: *Coenogoniaceae*), with a world-wide key and checklist and a phenotype based cladistic analysis. *Fungal Diversity*, 23: 255–321. Available at: https://www.fungaldiversity.org/fdp/sfdp/23-13.pdf

Rolfe J., Hitchmough R., Michel P., Makan T., Cooper J.A., de Lange P.J., Townsend A.J., Miskelly C.M., Molloy J. 2022. *New Zealand Threat Classification System manual 2022. Part 1: Assessments*. Wellington: Department of Conservation, 45 pp. Available at: https://www.doc.govt.nz/globalassets/documents/about–doc/oia/2023/december/new–zealand–threat–classification–part–1.pdf

St. George I.M. 2009. *Colenso's collections — including the unpublished work of the late Bruce Hamlin on William Colenso's New Zealand plants held at Te Papa*. The New Zealand Native Orchid Group Inc., 22 Orchard St. Wadestown, Wellington, 412 pp.

Wu X., Liu F., Zhao J., Jia Z. 2018. A preliminary study on the lichen genus *Coenogonium* from China. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 26(4): 421–428.

Перегляд комплексу видів *Coenogonium luteum* (*Coenogoniaceae*) у Новій Зеландії: нові види, нові знахідки й нотатки щодо *C. tomentosum*

К.Дж. ДЖЕЙМС [1], Д.Дж. БЛАНШОН [2], П.Дж. де ЛАНГЕ [1]
[1] Технічний університет УніТек, Окленд, Нова Зеландія
[2] Оклендський військово-історичний музей, Окленд, Нова Зеландія

Реферат. Рід *Coenogonium* (ліхенізовані *Ascomycota Coenogoniaceae*) в Аотеароа | Новій Зеландії востаннє детально вивчав Галловей у 2007 р., який визнавав дев'ять видів; разом із ще одним описаним згодом видом їхня загальна кількість складала 10 видів. З початком нашого дослідження було виявлено багато доказів на користь того, що *Coenogonium luteum* є насправді комплексом видів у Новій Зеландії, і це зумовило необхідність проведення нашого таксономічного перегляду. Було досліджено зразки *C. luteum* sensu lato у колекціях багатьох новозеландських гербаріїв, головним чином, в Оклендському військово-історичному музеї (AK), Університеті Отаго (OTA) та УніТеку (UNITEC). Результати цього дослідження показали, що зразки *C. luteum* sensu lato включають декілька таксонів. Тут ми подаємо уточнений опис *C. luteum* для новозеландських зразків, повідомляємо про дві нові знахідки для Аотеароа — *C. australiense* та *C. pineti*, а також описуємо два нові види — *C. hepatiphilum* C.J. James sp. nov. і *C. goniocystosum* C.J. James sp. nov. Для всіх п'яти видів подано морфологічні описи, екологічні особливості, дані про поширення, оцінки природоохоронного статусу, а також оновлений ключ для визначення видів роду *Coenogonium* в Аотеароа. Крім того, запропоновано синонімізувати *C. pertenue* з *C. luteum* і *C. tomentosum* з *C. implexum*.

Ключові слова: *Coenogonium*, Аотеароа | Нова Зеландія, ліхенізована мікобіота, нові види, нові синоніми, таксономія лишайників

MYCOLOGICAL RECORDS
МІКОЛОГІЧНІ ЗНАХІДКИ

https://doi.org/10.15407/ukrbotj83.02.087
RESEARCH ARTICLE

Fibricium rude (*Hymenochaetales*) — перша знахідка в Україні

Марія В. ШЕВЧЕНКО
Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України,
вул. Терещенківська 2, Київ 01601, Україна
Адреса для листування: *shevchenkomv8@gmail.com*

Реферат. У статті наводиться інформація про першу знахідку в Україні кортиціоїдного гриба *Fibricium rude*. Це також перше повідомлення про знахідку роду *Fibricium* на території країни. Узагальнено дані щодо поширення цього виду у світі, подано детальний опис морфологічних ознак, зроблених на основі світлової мікроскопії, проаналізовано екологічні особливості та субстратні уподобання. Стаття супроводжується оригінальними ілюстраціями макро- та мікроскопічних особливостей гриба.

Ключові слова: димітична гіфальна система, кортиціоїдний гриб, Національний природний парк "Голосіївський", *Basidiomycota*

Вступ

Рід *Fibricium* J. Erikss. описаний у 1958 р. із типовим видом *Fibricium rude* (P. Karst.) Jülich (Eriksson, 1958). Це нечисленний рід кортиціоїдних грибів, що належить до родини *Hymenochaetaceae* порядку *Hymenochaetales* відділу *Basidiomycota* (He et al., 2024). Для представників роду характерні розпростерті та розпростерто-відігнуті базидіоми білого або кремового забарвлення, з гладеньким чи одонтоїдним гіменофором, ризоморфним краєм плодового тіла, димітичною гіфальною системою (генеративні гіфи тонкостінні з пряжками, скелетні — товстостінні й нерозгалужені, без перегородок і пряжок), нерідко зі стерильними елементами в гіменії, чотириспоровими булавоподібними базидіями та еліпсоїдними гладенькими базидіоспорами без амілоїдної/декстриноїдної чи ціанофільної рекції (Bernicchia, Gorjón, 2010; Larsson, Ryvarden, 2021).

У загальносвітовому масштабі рід *Fibricium* налічує сім видів (https://www.indexfungorum.org/, запит від 24.06.2025), чотири з яких відомі в Європі (Larsson, Ryvarden, 2021). На цей час молекулярно-генетичні дані є лише для двох із них — *Fibricium rude* і *F. subceraceum* (Hallenb.) Bernicchia. На думку К.-Г. Ларсона та Л. Рівардена (2021), рід *Fibricium* не є монофілетичним, а чотири європейські види, найімовірніше, належать до окремих родів.

Дотепер в Україні не реєстрували жодного представника роду *Fibricium*.

ARTICLE HISTORY. Submitted 25 June 2025. Revised 16 April 2026. Published 30 April 2026

CITATION. Shevchenko M.V. 2026. *Fibricium rude* (*Hymenochaetales*), the first record in Ukraine. *Ukrainian Botanical Journal*, 83(2): 87–91. [In Ukrainian]. https://doi.org/10.15407/ukrbotj83.02.087

© M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine, 2026
© Publisher PH "Akademperiodyka" of the NAS of Ukraine, 2026
This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Матеріали та методи

Матеріалом для статті став зразок кортиціоїдного гриба, зібраний автором у квітні 2019 р. у Національному природному парку "Голосіївський" та ідентифікований як *Fibricium rude*. Досліджений зразок зберігається в Національному гербарії Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України (KW-M).

Збір та гербаризація мікологічного матеріалу здійснювалися за загальноприйнятими мікологічними методиками. Макроморфологічні ознаки плодових тіл вивчали за допомогою стереомікроскопа "МБС-9". Для дослідження мікроструктур використовували світловий мікроскоп Carl Zeiss Jena Amplival. Мікропрепарати виготовляли у 5%-му розчині гідроксиду калію, для виявлення реакції базидіоспор на йодовмісні сполуки використовували реактив Мельцера, для встановлення ціанофільної реакції мікроструктур — 0,1%-й розчин бавовняного синього в 60%-й молочній кислоті. Розміри спор подані на основі 30 вимірювань, інших мікроструктур — 10. В описі виду використані такі скорочення: L — середня довжина базидіоспор, W — середня ширина, Q — співвідношення довжини до ширини).

Сучасна латинська назва та синоніми виду подані відповідно до бази даних *Index Fungorum* (https://www.indexfungorum.org/).

Результати та обговорення

Нижче наводимо детальний опис виду, зроблений на основі дослідженого зразка, та оригінальні ілюстрації, а також інформацію щодо поширення та екологічних уподобань ідентифікованого виду.

***Fibricium rude* (P. Karst.) Jülich, Persoonia 8(1): 81. 1974** (Рис. 1, 2)

≡ *Corticium rude* P. Karst., Bidr. Känn. Finl. Nat. Folk 37: 143. 1882 ≡ *Gloeocystidium rude* (P. Karst.) Höhn. & Litsch., Sber. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturw. Kl., Abt. 1 115: 1558. 1906 ≡ *Peniophora rudis* (P. Karst.) Bourdot & Galzin, Hyménomyc. de France (Sceaux): 302. 1928 [1927] ≡ *Terana rudis* (P. Karst.) Kuntze, Revis. gen. pl. (Leipzig) 2: 872. 1891.

= *Corticium greschikii* Bres., Revue mycol., Toulouse 12(no. 47): 109. 1890 ≡ *Fibricium greschikii* (Bres.) J. Erikss., Symb. bot. upsal. 16(no. 1): 114. 1958 ≡ *Peniophora greschikii* (Bres.) Bourdot & Galzin, Hyménomyc. de France (Sceaux): 300. 1928 [1927].

= *Peniophora subcremea* Höhn. & Litsch., Sber. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturw. Kl., Abt. 1 115: 1600. 1906.



Рис. 1. *Fibricium rude*, загальний вигляд плодового тіла
Fig. 1. *Fibricium rude*, general view of basidioma

Плодове тіло розпростерте або злегка відігнуте, плівчасте, щільно приросле до субстрату. Поверхня гіменофору гладенька, після висихання дещо розтріскується, спочатку білого, після дозрівання кремового кольору. Край базидіоми ризоморфний, однакового кольору із субікулюмом. ***Гіфальна система*** димітична, генеративні гіфи з пряжками, прозорі, розгалужені, місцями з анастомозами, завширшки 3,0–3,5 мкм, скелетні гіфи прямі, без пряжок і перегородок, товстостінні, шириною 1,8–2,2 мкм. ***Гіменіальний шар*** палісадний, зі стерильними елементами. ***Субгіменіальний шар*** складається із генеративних гіф, тут присутні багатокутні кристали, розміром 6,8–9,0 × 6,0–7,5 мкм. ***Субікулюм*** утворений генеративними та скелетними гіфами, пронизаний ризоморфами. ***Ризоморфи*** димітичні, складаються із тих самих типів гіф, що й субікулюм, окремі гіфи вкриті кристалами, що за формою і розміром нагадують кристали субгіменіального шару. ***Цистиди*** списоподібні, із дещо ширшою базальною частиною та трохи вужчою апікальною, верхівка цистиди заокруглена або дещо сплощена; більшість цистид тонкостінні, але трапляються поодинокі із потовщеними клітинними стінками; верхівка цистиди вкрита аморфною речовиною, добре видною у воді, але яка швидко розчиняється у КОН та бавовняному

ISSN 2415-8860. *Ukrainian Botanical Journal*. 2026. 83 (2)

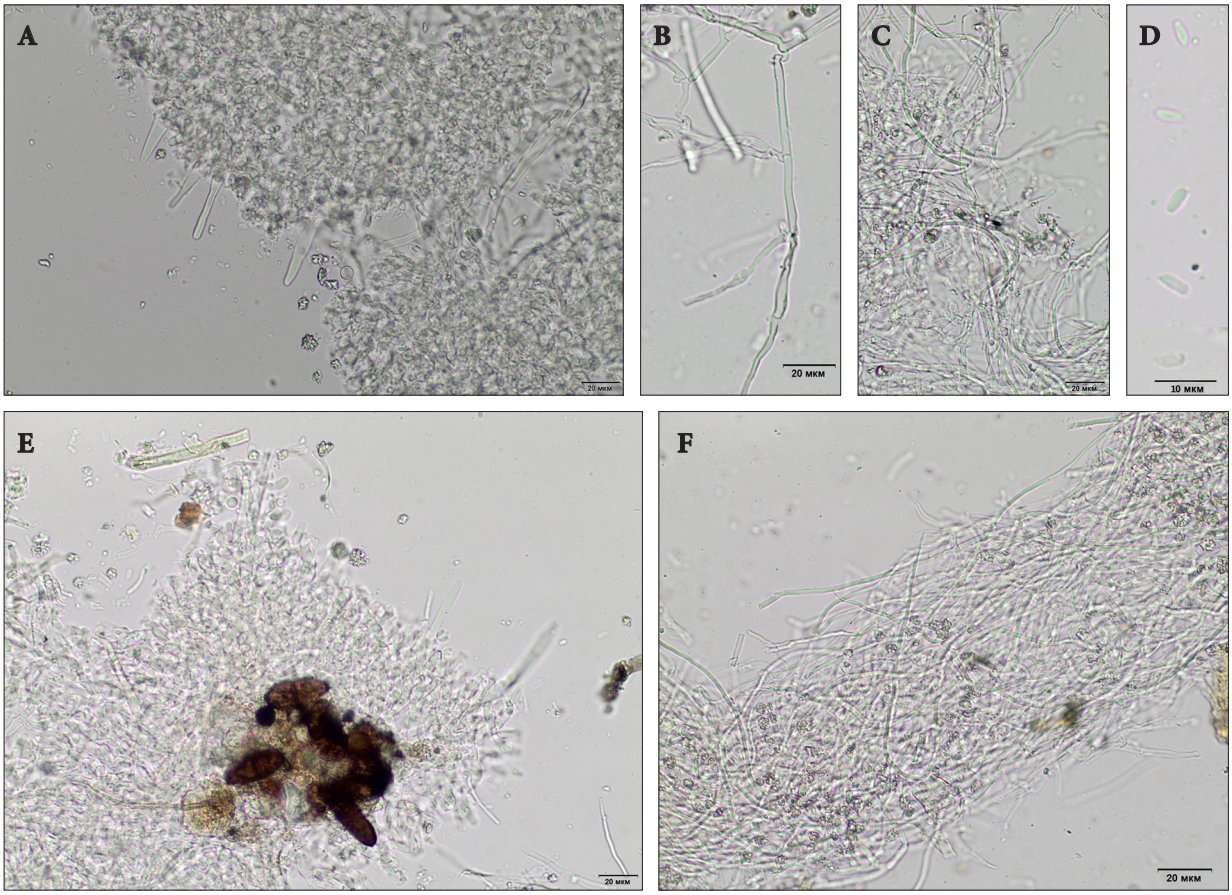


Рис. 2. *Fibricium rude*. A, E: фрагменти гіменію; B: генеративні гіфи; C: субікулюм; D: базидіоспори; F: ризоморфи
Fig. 2. *Fibricium rude*. A, E: hymenium fragments; B: generative hyphae; C: subiculum; D: basidiospores; F: rhizomorphs

синьому; 30–45 × 4,5–5,5 мкм. ***Базидії*** булавоподібні, 12–13 × 3,0–4,4 мкм, із чотирма стеригмами та базальною пряжкою. ***Базидіоспори*** вузько еліпсоїдні до майже циліндричних, гладенькі, гіалінові, 3,8–5,8(6) × 1,5–2,3(3) мкм (L = 4,96 мкм, W = 2,09 мкм, Q = 2,27 мкм), неамілоїдні, недекстриноїдні, нецianофільні.

Досліджений зразок. Київська обл., Обухівський р-н, Національний природний парк "Голосіївський", урочище Лісники, 50°17'30.1"N 30°34'49.4"E, сосновий ліс, на опалих гілках *Pinus sylvestris* L., 25.04.2019, зібр., визн. М. Шевченко (KW-M71768).

Загальне поширення. Північна Америка: Канада, Мексика, США (Gilbertson, Budington, 1970; Martin, Gilbertson, 1980; Nakasone, 1990; Volk et al., 1994; Rajchenberg, 2002; https://www.gbif.org/species/2519203); Південна Америка: Бразилія (De Jesus, 1996); Африка: Марокко (Tellería et al., 2016; https://www.gbif.org/species/2519203); Азія: Китай, Непал, Південна Корея, РФ, Туреччина, Японія (Pilát, 1937; Hayashi, 1974; Hjortstam, Ryvarden, 1984, 1988; Jang et al., 2016; https://www.gbif.org/species/2519203); Європа: Австрія, Естонія, Іспанія, Італія, Німеччина, Норвегія, Португалія, РФ, Словаччина, Україна, Фінляндія, Франція, Швеція (Hallenberg, Bernicchia, 1987; Hjortstam, Larsson, 1997; Melo, Tellería, 1997; Ortega, Lorite, 2000; Dämon, 2001; Bernicchia et al., 2007; Dueñas et al., 2009; Bernicchia, Gorjón, 2010; Kunttu et al., 2018; Friebes et al., 2023; https://www.gbif.org/species/2519203).

Субстратні уподобання. За літературними даними (Eriksson, Ryvarden, 1975) вид здатний розвиватися на широкому спектрі хвойних і листяних деревних порід. У Європі найчастіше трапляється на хвойних (Bernicchia, Gorjón, 2010), причому в північній частині Європи

віддає перевагу *Picea abies* (L.) H. Karst., а в інших регіонах — *Pinus* L., *Pseudotsuga* Carrière та *Salix* L. (Larsson, Ryvarden, 2021).

Висновки

Fibricium rude — перший представник роду, відмічений в Україні. Цей вид відомий з усіх континентів, крім Австралії та Антарктиди. Незважаючи на велику різноманітність субстратів, які він здатний колонізувати, по всьому ареалу трапляється доволі рідко. Проаналізувавши літературні дані щодо його поширення у світі, можна зробити висновок, що *F. rude* тяжіє до помірного кліматичного поясу.

Виявлений нами вид належить до одного із небагатьох родів кортиціоїдних грибів із димітичною гіфальною системою. У комбінації з мікроморфологією стерильних елементів і базидіоспор він легко ідентифікується за допомогою світлової мікроскопії.

Причини низької частоти трапляння достеменно невідомі, тому подальші дослідження ареалу цього виду на території України залишаються актуальними. В майбутньому це дасть змогу оцінити його природоохоронний статус.

Зважаючи на нерівномірність вивченості видового складу кортиціоїдних грибів в Україні, слід очікувати виявлення й інших видів роду в майбутньому.

ДОТРИМАННЯ ЕТИЧНИХ НОРМ

Автор повідомляє про відсутність будь-якого конфлікту інтересів.

ORCID

М. Шевченко https://orcid.org/0000-0001-9173-7662

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

Bernicchia A., Gorjón S.P. 2010. *Corticiaceae* s. l. In: *Fungi Europaei*. Vol. 12. Italy: Candusso, 1008 pp.

Bernicchia A., Savino E., Gorjón S.P. 2007. Aphyllophoraceous wood-inhabiting fungi on *Pinus* spp. in Italy. *Mycotaxon*, 101: 5–8.

Dämon W. 2001. Die corticioiden Basidienpilze des Bundeslandes Salzburg (Österreich): Floristik, Lebensräume und Substratökologie. *Bibliotheca Mycologica*, 189: 1–413.

De Jesus M.A. 1996. Contribution to the knowledge of wood-rotting fungi in Brazil, II. Checklist of fungi from Maracá Island, Roraima State. *Mycotaxon*, 57: 323–328.

Dueñas M., Tellería M.T., Melo I. 2009. The aphyllophorales (*Basidiomycota*) of a Mediterranean biodiversity "hotspot" — "Cazorla, Segura & Las Villas" Natural Park (Spain). *Mycotaxon*, 109: 465–468.

Eriksson J. 1958. Studies in the Heterobasidiomycetes and Homobasidiomycetes – Aphyllophorales of Muddus National Park in North Sweden. *Symbolae Botanicae Upsalienses*, 16(1): 1–172.

Eriksson J., Ryvarden L. 1975. *The Corticiaceae of North Europe*. Vol. 3, pp. 288–546.

Friebes G., Gallé A., Michelitsch S. 2023. Ergänzungen zur Funga der Steiermark 4. *Joannea Botanik*, 19: 149–186.

Gilbertson R.L., Budington A.B. 1970. New records of Arizona wood-rotting fungi. *Journal of the Arizona Academy of Science*, 6(2): 91–97.

Hallenberg N., Bernicchia A. 1987. Cultural studies in *Fibricium* (*Corticiaceae*, *Basidiomycetes*). *Mycotaxon*, 30: 203–208.

Hayashi Y. 1974. Studies on the genus *Peniophora* Cke and its allied in Japan. *Bulletin of the Government Forest Experiment Station*, 260: 1–98.

He M.-Q., Cao B., Liu F., Boekhout T., Denchev T.T., Schoutteten N., Denchev C.M., Kemler M., Gorjón S.P., Begerow D., Valenzuela R., Davoodian N., Niskanen T., Vizzini A., Redhead S.A., Ramírez-Cruz V., Papp V., Dudka V.A., Dutta A.K., García-Sandoval R., Liu X.-Z., Kijpornyongpan T., Savchenko A., Tedersoo L., Theelen B., Trierveiler-Pereira L., Wu F., Zamora J.C., Zeng X.-Y., Zhou L.-W., Liu S.-L., Ghobad-Nejhad M., Giachini A.J., Li G.-J., Kakishima M., Olariaga I., Haelewaters D., Sulistyo B., Sugiyama J., Svantesson S., Yurkov A., Alvarado P., Antonin V., Felipe da Silva A., Druzhinina I., Gibertoni T.B., Guzmán-Dávalos L., Justo A., Karunarathna S.C., Galappaththi M.C.A., Toome-Heller M., Hosoya T., Liimatainen K., Márquez R., Mešić A., Moncalvo J.-M., Nagy L.G., Varga T., Orihara T., Raymundo T., Salcedo I., Silva-Filho A.G.S., Tkalčec Z., Wartchow F., Zhao C.-L., Bau T., Cabarroi-Hernández M., Cortés-Pérez A., Decock C., De Lange R., Weiss M., Menolli Jr. N., Nilsson R.H., Fan Y.-G., Verbeken A., Gafforov Y., Meiras-Ottoni A., Mendes-Alvarenga R.L., Zeng N.-K., Wu Q., Hyde K.D., Kirk P.M., Zhao R.-L. 2024. Phylogenomics, divergence times and notes of orders in Basidiomycota. *Fungal Diversity*, 126(1): 127–406. https://doi.org/10.1007/s13225-024-00535-w

Hjortstam K., Larsson K.-H. 1997. Corticioid fungi growing on ferns in northern Europe. *Windhalia*, 22: 49–56.

Hjortstam K., Ryvarden L. 1984. Some new and noteworthy Basidiomycetes (Aphyllophorales) from Nepal. *Mycotaxon*, 20(1): 133–151.

Hjortstam K., Ryvarden L. 1988. Notes on the *Corticiaceae* of northern China. *Acta Mycologica Sinica*, 7(2): 77–88.
Jang Y., Jang S., Lee J., Lee H., Lim Y.W., Kim C., Kim J.J. 2016. Diversity of wood-inhabiting polyporoid and corticioid fungi in Odaesan National Park, Korea. *Mycobiology*, 44(4): 217–236. https://doi.org/10.5941/MYCO.2016.44.4.217
Kunttu P., Juutilainen K., Helo T., Kekki T., Kotiranta H. 2018. Updates to Finnish aphyllophoroid funga (*Basidiomycota*): new species and range extensions. *Mycosphere*, 9(3): 519–564. https://doi.org/10.5943/mycosphere/9/3/7
Larsson K.-H., Ryvarden L. 2021. *Corticioid fungi of Europe*. Vol. 1. *Synopsis Fungorum*, 43: 1–266.
Martin K.J., Gilbertson R.L. 1980. Synopsis of wood-rotting fungi on spruce in North America III. *Mycotaxon*, 10: 479–501.
Melo I., Tellería M.T. 1997. Preliminary list of the Aphyllophorales (Fungi, Basidiomycetes) of three protected areas in southern central Portugal. *Portugaliae Acta Biologica*, 17: 111–153.
Nakasone K.K. 1990. Cultural studies and identification of wood-inhabiting *Corticiaceae* and selected Hymenomycetes from North America. *Mycologia Memoirs*, 15: 1–412.
Ortega A., Lorite J. 2000. Síntesis de los Aphyllophorales s.l. lignícolas (*Basidiomycota*, macrofungi) presentes en las comunidades vegetales de Andalucía. *Acta Botanica Malacitana*, 25: 61–72.
Pilát A. 1937. Addimenta ad floram Asiae Minoris Hymenomycetum et Gasteromycetum. Pars quarta (1). *Bulletin de la Société Mycologique de France*, 53: 253–264.
Rajchenberg M. 2002. Corticioid and polyporoid fungi (Basidiomycotina) that decay *Austrocedrus chilensis* in Patagonia, Argentina. *Mycotaxon*, 81: 215–227.
Tellería M.T., Dueñas M., Melo I., Salcedo I., Cardoso J., Fernández-López J., Martín M.P. 2016. Corticioid fungi (*Basidiomycota*) from the Biosphere Reserve of Arganeraie, Morocco: a preliminary survey. *Nova Hedwigia*, 103(1–2): 193–210. https://doi.org/10.1127/nova_hedwigia/2016/0345
Volk T.J., Burdsall H.H., Reynolds K. 1994. Checklist and host index of wood-inhabiting fungi of Alaska. *Mycotaxon*, 52(1): 1–46.

Fibricium rude (_Hymenochaetales_), the first record in Ukraine

M.V. SHEVCHENKO
M.G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine,
2 Tereshchenkivska Str., Kyiv 01601, Ukraine

Abstract. The article reports the first record of the corticioid fungus *Fibricium rude* in Ukraine. This is also the first report of the genus *Fibricium* in the country. A detailed description of morphological characters of the species based on the light microscopy examination is provided. The ecological characteristics and substrate preferences are analyzed, the worldwide distribution data is summarized. The macro- and microscopic characters of the fungus are illustrated.

Keywords: *Basidiomycota*, corticoid fungi, dimitic hyphal system, Holosiiv National Nature Park

RED DATA BOOK OF UKRAINE
ЧЕРВОНА КНИГА УКРАЇНИ

https://doi.org/10.15407/ukrbotj83.02.092
RESEARCH ARTICLE

Ranunculus lateriflorus (*Ranunculaceae*) within the Prytysianska lowland (Ukraine): distribution, ecology, and conservation assessment

Matej DUDÁŠ [1*], **Lyubov FELBABA-KLUSHYNA** [2]

[1] Department of Plant Biology, Institute of Biology & Ecology, Faculty of Science, Pavol Jozef Šafárik University, 23 Mánesova Str., Košice SK-040 01, Slovakia

[2] Department of Botany, Faculty of Biology, State University "Uzhhorod National University", 32 Voloshyna Str., Uzhhorod 88000, Ukraine

* Author for correspondence: *dudas.mato@gmail.com*

Abstract. The transformation of landscapes and changes in the hydrological regime of the Tisza River basin amid climate change have led to the decline or even local extinction of many hydro- and hygrophilous vascular plant species due to the destruction or deterioration of their habitats from the lowlands to the subalpine zone of the Eastern Carpathians. One of these species, *Ranunculus lateriflorus* (*Buschia lateriflora*), a rare species known only from five areas within southern and western Ukraine, was for a long time considered extinct from the territory of Zakarpattia (Transcarpathian) Region of Ukraine. We analysed the distribution pattern of the species based on our study of herbarium specimens deposited in public herbarium collections, supported with intensive field surveys in seasons of 2022–2025. The species is locally distributed between Uzhhorod, Chop, and Batovo and occupies field depressions with temporary water bodies where salts accumulate, and small saline marshes. We provide here a list of locations and their characteristics, as well as the species' response to the leading environmental factors. Based on our analysis of the collected data, we determined the conservation status of the species in Ukraine and, in accordance with the IUCN methodology, classified it as Endangered (EN). To preserve *Ranunculus lateriflorus* in our region, we consider it necessary to expand the area of the existing Prytysiansky Regional Landscape Park to include the identified locations.

Keywords: conservation, endangered species, floodplain meadows, habitat, IUCN Red List, Pannonic semi-saline meadows, *Ranunculus lateriflorus*, Tisza basin

Introduction

Marsh vegetation and hygro- and hydrophilic vascular plants have been studied in the Zakarpattia Oblast (Transcarpathian Region) of Ukraine for a long time (Margittai, 1933; Boros, 1925–1926; Felbaba-Klushyna, 2010; Felbaba-Klushyna et al., 2023). Over the past decades, human activities have

ARTICLE HISTORY. Submitted 10 September 2025. Revised 30 January 2026. Published 30 April 2026

CITATION. Dudáš M., Felbaba-Klushyna L. 2026. *Ranunculus lateriflorus* (*Ranunculaceae*) within the Prytysianska lowland (Ukraine): distribution, ecology, and conservation assessment. *Ukrainian Botanical Journal*, 83(2): 92–101. https://doi.org/10.15407/ukrbotj83.02.092

© M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine, 2026
© Publisher PH "Akademperiodyka" of the NAS of Ukraine, 2026

This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

affected the hydrological regime of the Tisza River basin and led to a drop in the water table, drying up of marshes, and the transformation of moisture-loving vegetation into vegetation with moderate water supply. These phenomena have been observed in the Ukrainian Carpathians from lowlands to highlands (Felbaba-Klushyna et al., 2023). In this regard, a significant number of plant species confined to habitats with excessive moisture have disappeared or are on the verge of extinction locally. In particular, annuals (therophytes) of the exposed bottom vegetation, such as *Eleocharis carniolica* W.D.J. Koch, *Limosella aquatica* L., *Lindernia procumbens* (Krock.) Philcox, and *Schoenoplectiella supina* (L.) Lye (*Scirpus supinus* L.), are extremely rare and require constant monitoring and protection actions (Felbaba-Klushyna, 2007).

One of the rare species that was considered locally extinct in the territory of Zakarpattia Region of Ukraine is *Ranunculus lateriflorus* DC. [= *Buschia lateriflora* (DC.) Ovcz.] (Margittai, 1933; Boros, 1925–1926; Krycsfalushy et al., 1999; Hamor et al., 2009; Felbaba-Klushyna, 2010) — Fig. 1.

The generalized distribution range of *Ranunculus lateriflorus* reaches northwestern Africa, Europe, western Siberia, and Central Asia (POWO, 2025–onward). For the European part of the former Soviet Union, it was reported as occurring in Crimea, Lower Volga, Middle Dnipro and Southern Transcaucasia floristic regions. *Ranunculus lateriflorus* grows in shores of freshwater bodies, flooded terrain depression in lowlands, muddy riverbanks, clay saline steppes, and occasionally in moist places in crops (Ovchinnikov, 1937; Visulina, 1953; Morozyuk, 1987).

During the fieldwork in southeastern Slovakia throughout the vegetation season of 2022, when we focused on monitoring of selected species for the preparation of a new Slovak Red Data Book, several previously reported populations of *R. lateriflorus* have been confirmed and some new populations have been found. Because the easternmost population were found between Veľké Kapušany and Leles, only four kilometres from the Slovak-Ukrainian border, we supposed that the species could be found in the Ukrainian part of the lowland (Zakarpattia Region) as well.

This article reports new findings of *R. lateriflorus* with a list of selected herbarium specimens, literature sources, and citizen science database (https://www.inaturalist.org/). Generalized information on the species distribution within Ukraine and adjacent territories is presented, and the ecological conditions of habitats and habitat types are provided. The conservational status of the species within Ukraine has been clarified.

Materials and Methods

The field course was held on 18 June 2023, 2 and 9 June 2024, and 9 June 2025 in field depressions between Uzhhorod, Chop, and Batovo. Herbarium specimens in several Central European collections (BP, BRA, BRNU, CL, DE, EGR, KO, LW, LWS, LWKS, SAV, SLO, UU, ZV, W, WU) were studied; acronyms of public herbaria follow Thiers (2025–onward). Ecological characteristics of the species are given according to the scale of Didukh (2011). Photo documentation was published on the *iNaturalist* platform (https://www.inaturalist.org/) and the relevant observations are cited at localities in the list below. Herbarium specimens are deposited in the Herbarium collection of the Botanical Garden of Pavol Jozef Šafárik University (acronym KO). The assessment of the conservation status of *Ranunculus lateriflorus* was carried out in accordance with the methodology outlined in the *IUCN Red List Categories and Criteria* (IUCN, 2017).

Natural conditions of the research area

The Prytysianska Lowland (Zakarpattia Lowland) was formed in the northwestern part of the Zakarpattia Internal Trough and the northeastern edge of the Pannonian Basin. Geologically, it corresponds to the tectonic element of the Chop-Mukachevo depression, which began to form in the Late Miocene-Pliocene. The territory continued to lower in the Anthropocene, and in the Holocene, the submergence of the territory was replaced by an uplift (Mykyta, Saluyk, 2013). Absolute elevations range from 105–120 m above sea level. The Mukachevo morphostructure is composed of Miocene and Quaternary sediments. The surface of the morphostructure is a flat lowland alluvial plain, which is a low terrace of the Tisza and its tributaries and rises above the current river water level by an average of 5–6 m (Gerenchuk, 1981).

The study area is characterised by a temperate continental European climate and is influenced by Atlantic air flows from the plains of Central Europe. The average monthly air temperature in the Prytysianska Lowland ranges from –0.7 °C in January



Fig 1. *Ranunculus lateriflorus*, young flowering plant (left) and fruiting plant (right). Photographed by M. Dudáš

to +21.9 °C in July-August, and the average annual temperature is 8.8 °C, which is highest in the Ukrainian Carpathians. The average annual precipitation in the lowlands is 650–750 mm (Ozymko, Karabiniuk, 2023). This is a warm climatic zone that covers the Zakarpattia Lowland and Pokutska Plain in the Dniester and Prut rivers (Milkina, 1988a, 1988b). In areas with constant or prolonged periodic moisture, meadow-bog soils are common, characterized by heavy texture, poor filtration, strong acidity and high humus content.

The main landscape type of this area is the floodplain-lower terraced plain. In the past, it was often flooded by floods and flood waters of the Tisza, Latorytsia, and Borzhava rivers, which maintained a high-water table, contributing to the glazing of the sod soils. To optimize them, significant reclamation work was carried out in the form of a network of canals hundreds of kilometres long, and dams were built along the rivers to protect the plain from catastrophic floods.

In the floodplains of the lowland rivers, alluvial meadow-brown loam and sod-brown loam soils with varying degrees of glaciation were formed, and meadow-bog and bog soils are sporadically distributed. In the Tysa-Latoritsa interfluve within the Chop depression, sod-gley, meadow podzolized gley and, less frequently, meadow soils are found on sandy loam deposits (Vovk, Orlov, 2005).

Results and Discussion

During the field research, we found several localities of *R. lateriflorus*, which are listed below:

– Uzhhorod District, between Mali Selmentsi and Siurte, several populations on the edge of fields and in flooded terrain depression, 48°29'34.27"N 22°10'39.25"E, 48°29'30.89"N 22°10'33.23"E (here frequent; Fig. 5), 48°28'46.96"N 22°11'3.51"E (sporadically), 48°29'57.51"N 22°11'36.69"E (tens of plants), ca 100 m a.s.l. (M. Dudáš, 11.05.2025, KO38442, 09.06.2025; https://www.inaturalist.org/observations/288268038, 280311613, 288267968 and 288268062).

– Uzhhorod District, Tyihlash, flooded terrain depression on corn field on SE edge of village behind the railway underpass, hundreds of plants, 48°28'37.7"N 22°13'54.2"E, 101 m a.s.l. (M. Dudáš, 18.06.2023, KO37470; https://www.inaturalist.org/observations/220518112).

– Uzhhorod District, Mali Heivtsi, field depression near farm on W edge of village, waterlogged after storm, rare, 48°29'30.07"N 22°17'21.62"E, 100 m a.s.l. (M. Dudáš, 18.06.2023, observation).

– Uzhhorod District, Demechi, waterlogged field depression on field W from village, tens of plants, 48°25'25.1"N 22°19'12.5"E, 100 m a.s.l. (M. Dudáš, 18.06.2023, KO37476; https://www.inaturalist.org/observations/194004423; Fig. 4). – ibid., waterlogged field depression on field SW from the village, only several plants, 48°24'51.41"N 22°19'31.34"E, 100 m a.s.l. (L. Felbaba-Klushyna & M. Dudáš, 09.06.2025, https://www.inaturalist.org/observations/288408400 and 288408405).

– Beregovo District, Batovo, field depression north from village (old grounded Latoritsa riverbed), scattered, 48°23'32.29"N 22°24'9.92"E,



Fig. 2. General distribution of *Ranunculus lateriflorus* (black triangles) in Ukraine

105 m a.s.l. (M. Dudáš & L. Felbaba-Klushyna, 09.06.2024; https://www.inaturalist.org/observations/221596332 and 221596353).

All these findings of *R. lateriflorus* were made within the elevation range of 100–110 m above sea level. An average population of this species usually covers areas of 20–50 m^2, with only the population in the vicinity of the village of Siurte being the largest, covering an area of 80 m^2. The number of individuals per 1 m^2 varies from 2 to 5 (rarely more). The distance between populations in the villages of Mali Selmentsi and Siurte, Mali Heivtsi, and Tyihlash ranges from 2 to 5 km. The other two populations are located southeast of this distribution centre. The population in the village of Demechi is 13 km southeast of this centre, and the population in the village of Batovo is at least 30 km southeast (Fig. 3). The range of *R. lateriflorus* is here fragmented and consists of small populations.

In Ukraine (Fig. 2), the species has significant disjunction areas — the southern one in Kherson Region (Dzharylhach Bay) and in Crimea, the western area in the Forest-Steppe in Ternopil Region (Horodok District, Lisovody village), and on the Left-bank Steppe in Zakarpattia Region (Ovchinnikov, 1937; Visulina, 1953; Morozyuk, 1987).

For Zakarpattia Region (Fig. 3), the species has been reported only from its lowland part, exclusively in the Transcarpathian Lowland (Chopyk, Fedoronchuk, 2015), where it grows in swamps and marshes (Fodor, 1974). According to Fodor's own scale of species abundance in the region, *R. lateriflorus* belongs to the category II (not much — scarce). In general, this species is not widespread throughout its range, due to the peculiarities of its ecological characteristics.

We found only several herbarium specimens in the Ukrainian herbarium collections in Lviv (LW, LWS, LWKS) and Uzhhorod National University (UU), and small number of specimens in other significant Central European public herbaria collections as part of exsiccate collection. The herbarium specimens are listed below (in original script and transcription from Cyrillic scripts):

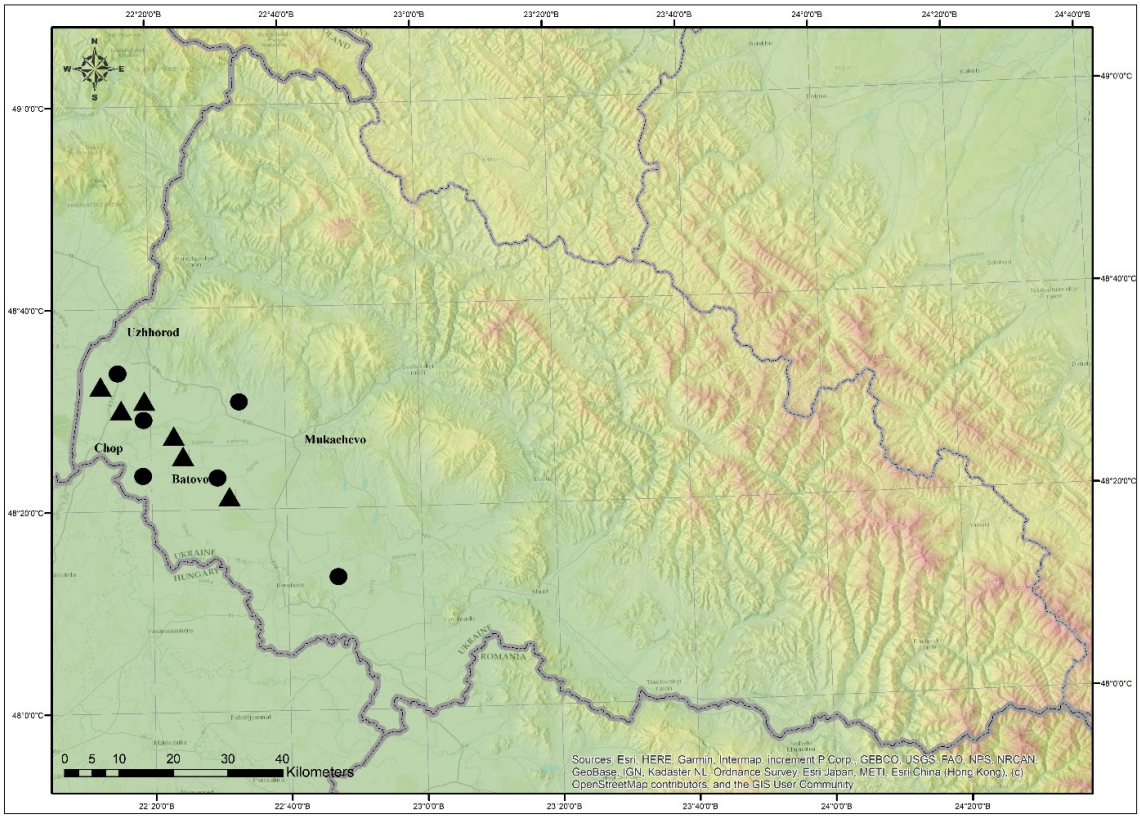


Fig. 3. Distribution of *Ranunculus lateriflorus* within the Prytysianska Lowland (Zakarpattia Region): new localities (black triangles) and herbarium specimens (black circles)

– Flora exsiccate Reipublicae Bohemicae Slovenicae. Rossia subcarpathica: Bereg: locis paludosis aquosisque ad p. Baťu, dit. Bereg, solo argiloso, ca. 110 m, V 1926, leg. A. Margittai (BRNU175562; CL; LW102257; SLO; ZV; BP); – Flora carpatica. Hab. in locis humidis ad pag. Bátyú, com. Bereg, V 1926, leg. A. Margittai (BRNU129309); – In paludosis ad pad. Bátyú, Com. Bereg, V 1926, leg. A. Margittai (CL), (*handwritten*); – In locis paludosis inter Kovaszóva — Nagy Bereg", VI 1922, leg. A. Margittai (CL), (*handwritten*); – Tsehlivka, leg. S.S. Fodor (UU), (*handwritten*); – Zakarpatska Region, Ivanivs'ke lisnytstvo, hrabova dyubrava, 20.V 1977, leg. O. Dumnych (UU), (*handwritten*); – Esen', volohyy luh, 28.V 1956, leg. S.S. Fodor (UU), (*handwritten*); 21.VI 1947, leg. E. Tovt; – Demychevo, volohyy luh, 21.V 1964, leg. E. Tovt (UU), (*handwritten*); – Palad'-Komarivtsi, pole, 16.V 1963, leg. S.S. Fodor (UU), (*handwritten*); – Chervone boloto, 15.V 1962, leg. E.S. Tovp (UU), (*handwritten*); – Zakarpatska Obl., Uzgorodskyy r-n, okolitsi s. Veliki Heivtsi, Zakarpatska nizovyna, zaplava r. Latoritsya. Peresykhayukhyj osochnik z *Carex vuplina* L. pri dorozy bilya mosta cherez r. Latoritsya, leg. R. Kisch, 18.V 2011 (LWKS033583).

The analysis of herbarium collections shows that until the middle of the 20th century this species was quite rare in the Prytysianska Lowland. Herbarium specimens of *R. lateriflorus* collected by A. Margittai in years 1922–1923 and Á. Boros in 1923 (Chornyi močar) are deposited in BP (Kricsfalusy et al., 1999), and this record was later separately published by Boros (1925–1926) and Margittai (1933). Margittai later collected *R. lateriflorus* near Batovo several times during 1922–1928.

Our research has shown that the species can be preserved in suitable habitats, such as water bodies with temporary water levels in spring and early summer, which subsequently dry up in summer, as well as field depressions among crops, especially in areas where winter crops are grown, the harvest of which coincides with the beginning of the growing



Fig. 4. *Ranunculus lateriflorus* near Demechi (yellow bunches over 40 cm high). Photo by M. Dudáš, 2023



Fig. 5. *Ranunculus lateriflorus* near Siurte. Photo by M. Dudáš, 2025

season of some annuals, including the species that we studied. The number of populations could be higher due to the fact that field depressions are rarely visited by botanists or even overlooked at the end of spring. On the other hand, the reason may also be the absence of field flora studies in the given area.

Thus, according to the current state of research in Ukraine, the Prytysianska Lowland is the place where the largest number of *R. lateriflorus* populations are presently concentrated.

Ranunculus lateriflorus is an annual plant with a short growing season (May–June). As a rule, a period of drought begins in late June in the Prytysianska Lowland. However, by this time, the species individuals are mostly finished with their growing season, and this circumstance makes it difficult to detect them to some extent. The main habitat of this species is swampy depression areas of fields, where rainwater is retained for a long time, and the constant alternation of drying and moistening processes leads to the accumulation of salts. Therefore, moist, slightly saline substrates with a sparse herbage stand, which is formed on sowing fields after harvesting winter crops, are particularly favourable for this species.

According to the requirements for and response to the main ecological factors (Didukh, 2011), *R. lateriflorus* belongs to hygromesophytes in relation to the soil water regime; to the hyper-hydrocontrastophiles in relation to moisture variability; to the aerophobes in relation to the soil aeration; to the basophiles in relation to soil acidity; to the glycotrophes in relation of plant species to total salt regime; the acarbonatophiles in relation to carbonate content in soil to; to the hemi-nitrophiles in relation to nitrogen content in soil; to the mesotherms in relation to the thermal climate; to the sub-continentals in relation to the continentality of climate (in Ukraine, this indicator is typical for the Steppe zone and the Black Sea region); to the acryophytes in relation to the cryo-climate, and to the heliophytes in relation to light.

The requirements of *R. lateriflorus* and its response to key environmental factors significantly limit its range, primarily due to soil conditions. Saline floodplain meadows and saline marshes are rare in Ukraine. Such rare ecological conditions and habitats existed in the Prytysianska Lowland before its large-scale drainage amelioration and plowing (Felbaba-Klushyna, 2009). However, over the past decades, the decline of agriculture and the neglect of the canal system have contributed to the natural recovery of hydrological and salt regimes in the lowest areas. Therefore, *R. lateriflorus* and some other species with similar ecological characteristics are also more common here.

To preserve biodiversity in general, and *R. lateriflorus* in particular, and to ensure the natural development of soil formation processes in the Prytysianska Lowland, the area of the Prytysiansky Regional Landscape Park should be expanded to include floodplain meadows and marshes in the vicinity of the villages of Demechi, Batovo, Tyihlash, Siurte, Mali Heivtsi, and Mali Selmentsi. Intensive field research will certainly result in findings additional new localities and populations. We assume that the species is more widely distributed up to the Carpathian foothills bordered with the line Uzhhorod–Mukachevo–Vynohradiv.

In accordance with the Council Directive 92/43/EEC on the Conservation of Natural Habitats and of Wild Fauna and Flora, the habitat with *R. lateriflorus* as well as other species we found in these communities, such as *Ranunculus sardous* Crantz, *R. sceleratus* L., *Limosella aquatica*, *Mentha pulegium* L., *Rorippa sylvestris* (L.) Besser, etc., formed on floodplain saline meadows of the Transcarpathian Lowland, are identified as Pannonic semi-saline meadows, and according to the EUNIS classification: B4.31 Pannonic salt steppes and salt marshes; E 6.2 Continental inland saline grass and herb-dominated habitats; Pal. Hab.: 15.A12 Pannonic saline meadows. In the Transcarpathian Lowland, this habitat is critically endangered (CR) and is located at the northeastern border of its natural distribution, where it is only fragmentarily represented by the halophilic meadow vegetation type, which is characterized by a relatively low dependence on the degree of salinity and by an impoverished species composition (Prots, Kagalo, 2012). As we have already noted, we found that the plant communities that are the main indicator of the above conditions are formed in depressed relief forms in fields sown mainly with winter crops.

Ranunculus lateriflorus has been assessed for The IUCN Red List of Threatened Species in 2013 as Least Concern (Lansdown, Rhazi, 2014). However, after 12 years, this data has become outdated and needs to be updated. This is especially true given that plants that grow in excessively moist ecotopes and have a narrow ecological amplitude in relation to the hydrological regime, such as the species we

studied, are increasingly found on lists of endangered species. The species is enlisted in the Czech and Slovak Red Data Book (Holub, 1999) and in Slovakia is considered in category Vulnerable (VU) (Eliáš et al., 2015; Dudáš, 2024). In Hungary it is protected and Near Threatened (Király, 2007). The species is not listed in the *Red Data Book of Ukraine* (Didukh, 2009; https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0370-21#n17).

Recently, Ukraine assessed the conservation status of plant species according to the IUCN (Onyshchenko et al., 2022). *Ranunculus lateriflorus* was classified as "Critically Endangered" (CR), but the quality of this national assessment was rated as poor, indicating a lack of high-quality data on this species. The criterion for national assessment (for species in categories CR, EN, VU, and sometimes NT) was defined as C2a(i). This means that, based on observations, conclusions, or projections, it has been established that the population is continuing to decline, with no subpopulation exceeding 50 mature individuals. However, the subpopulation (according to the meaning of this term adopted in the IUCN methodology) that we studied in Transcarpathia numbers about 1,000 individuals. At the same time, we assume that there may be more localities than those we have identified. Over the past 50 years, the number of localities has decreased due to increased anthropogenic impact. This trend will intensify due to the war, which has provoked a mass migration of the population from the east of the country to Transcarpathia, specifically to the lowlands, as well as the relocation of production facilities and the development of residential infrastructure. Despite this, *R. lateriflorus* will continue to occur for some time in suitable conditions in fields, especially those where winter crops are grown, which are harvested before the start of its vegetation period, allowing the formation of halophytic communities of annuals. Therefore, based on careful analysis of the collected data, we identify *R. lateriflorus* as "Endangered" (EN) with the criterion of the national assessment as "E". This means that there is a significant risk of extinction in the wild due to population decline, habitat loss, and habitat quality changes. Our quantitative analysis shows that the species has ≥20% chance of extinction within the next 20 years, or 5 generations (whichever is longer, but not more than 100 years). Using this criterion, we recommend adding *R. lateriflorus* to the new edition of the *Red Data Book of Ukraine*.

Conclusion

This article presents the results of research on *Ranunculus lateriflorus*, a rare species in Ukraine that was long considered extinct in the Zakarpattia Region of Ukraine. According to current research on the species in Ukraine, the Prytysianska Lowland is the place where most of its populations are concentrated. The range in the Prytysianska Lowland is fragmented, with populations occupying small areas of 20–50 m^2, and only one population covering an area of 80 m^2. Analysis of herbarium specimens, supported by intensive field research, shows that *R. lateriflorus* is locally distributed between Uzhhorod, Chop, and Batovo. It occupies saline floodplain meadows or small saline marshes. In accordance with the Council Directive 92/43/EEC, the habitats with *R. lateriflorus* are identified as "Pannonic semi-saline meadows". The species is characterized by a narrow ecological amplitude in relation to the leading ecological factors of the environment and is particularly vulnerable to their change. According to the IUCN criteria, the conservation status of *Ranunculus lateriflorus* within Ukraine is defined as "Endangered" (EN), with the criterion of the national assessment as "E".

Acknowledgements

We thank to Richard Hrivnák (Zvolen, Slovakia) for his valuable comments on an earlier version of this article. We are especially grateful to the reviewers for their ideas and productive comments. We are grateful to Nadiya Sychak for her information regarding herbarium specimens of *Ranunculus lateriflorus* in the herbarium collections of the Institute of Ecology of the Carpathians, NAS of Ukraine (LWS) and in the Ivan Franko National University of Lviv (LS).

ETHICS DECLARATION

Authors declare no actual or potential conflict of interest with other persons or institutions.

ORCID

M. Dudáš https://orcid.org/0000-0003-2446-9498
L. Felbaba-Klushyna https://orcid.org/0000-0002-4891-4229

REFERENCES

Boros Á. 1925–1926. Közép- és Nyugatmagyarország Sphagnum-lápjai növényföldrajzi szempontból. *A Debreceni Tisza István Tudományos Társaság Honismertető Bizottságának Kiadványai*, 2(5): 3–26.

Chopyk V.I., Fedoronchuk M.M. 2015. *Flora of the Ukrainian Carpathians*. Ternopil: Terno-Graph Ltd., 712 pp. [Чопик В.І., Федорончук М.М. 2015. *Флора Українських Карпат*. Тернопіль: ТзОВ "Терно-граф", 712 с.]

Didukh Ya.P. 2009. *Red Data Book of Ukraine. Plant Kingdom*. Kiyv: Globalconsulting, 912 pp. [Дідух Я.П. 2009. *Червона книга України. Рослинний світ*. Київ: Глобалконсалтинг, 912 с.]

Didukh Ya.P. 2011. *The ecological scales for the species of Ukrainian flora and their use in synphytoindication*. Kyiv: Phytosociocentre, 176 pp.

Dudáš M. 2024. *Ranunculus lateriflorus*. In: *Červená kniha vzácnych a ohrozených druhov Slovenska. Vyššie rastliny*. Ed. Eliáš P. jun. Bratislava: Štátna ochrana prírody SR, 531–532 pp.

Eliáš P. jun., Dítě D., Kliment J., Hrivnák R., Feráková V. 2015. Red list of ferns and flowering plants of Slovakia, 5th edition (October 2014). *Biologia* (*Bratislava*), 70(2): 218–228. https://doi.org/10.1515/biolog-2015-0018

Felbaba-Klushyna L.M. 2007. Phytocoenotic characterization and protection of communities with *Scirpus supinus* L. (*Cyperaceae*) in the Transcarpathian plain. *Notes in Current Biology*, 5: 259–261. [Фельбаба-Клушина Л.М. 2007. Фітоценотична характеристика та охорона угруповань із *Scirpus supinus* L. (*Cyperaceae*) на Закарпатській рівнині. *Нотатки сучасної біології*, 5: 259–261.]

Felbaba-Klushyna L.M. 2009. Current state, trends of changes and ways of conservation and reproduction of biodiversity of plant cover of the Transcarpathian lowland. *Scientific Bulletin of Uzhhorod National University. Series Biology*, 25: 134–155. [Фельбаба-Клушина Л.М. 2009. Сучасний стан, тенденції змін та шляхи збереження й відтворення біорізноманіття рослинного покриву Закарпатської низовини. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія "Біологія"*, 25: 134–155.]

Felbaba-Klushyna L.M. 2010. *Marshland and aquatic vegetation cover in the Tysa River upper course (the Ukrainian Carpathians), and fluvial concept of its protection*. Uzhgorod: Poligrafcentr "Lira", 192 pp. [Фельбаба-Клушина Л.М. 2010. *Рослинний покрив водойм і болiт верхів'я річки Тиси (Українські Карпати) та флювіальна концепція його охорони*. Ужгород: Поліграфцентр "Ліра", 192 с.]

Felbaba-Klushyna L.M., Turisová I., Turis P., Voloshchuk M., Gapon S. 2023. Vegetation cover of subalpine lakes within the Svydovets ridge (Ukrainian Carpathians) and prospects for its protection. *Biologia* (*Bratislava*), 78: 2329–2338. https://doi.org/10.1007/s11756-023-01386-7

Fodor S. 1974. *Flora Zakarpattya*. Lviv: Publishing Association Vyshcha shkola, 207 pp. [Фодор С.С. 1974. *Флора Закарпаття*. Львів: Вища школа, 207 с.]

Gerenchuk K.I. 1981. *Pryroda Zakarpats'koi Oblasti*. Lviv: Vyshcha shkola, 156 pp. [Геренчук К.И. 1981. *Природа Закарпатской области*. Львов: Вища школа, 156 с.]

Hamor F., Hamor A., Antosyak T. 2009. Regional Red List of vascular plants in Transcarpathia and some practical aspects of their protection. *Scientific Bulletin of Uzhhorod National University. Series Biology*, 25: 89–107. [Гамор Ф., Гамор А., Антосяк Т. 2009. Регіональний Червоний список судинних рослин Закарпаття та деякі практичні аспекти їх охорони. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія "Біологія"*, 25: 89–107.]

Holub J. 1999. *Ranunculus lateriflorus*. In: *Červená kniha ohrozených a vzácnych druhov rastlín a živočíchov SR a ČR. 5. Vyššie rastliny*. Eds J. Čeřovský, V. Feráková, J. Holub, Š. Maglocký, F. Procházka. Bratislava: Príroda, p. 310.

IUCN. 2017. *IUCN Red List Categories and Criteria*. Version 3.1. 2nd ed. Kyiv, pp. v + 36. Translated from: *IUCN Red List Categories and Criteria*. 2012. Version 3.1. 2nd ed. Gland, Switzerland and Cambridge, UK, iv + 32 pp. [МСОП. 2017. *Категорії та критерії червоного списку МСОП*. Версія 3.1. 2-ге вид. Переклад з англійської. Київ, v + 36 с.] Available at: https://www.iucnredlist.org/resources/other-translations (Accessed 10 April 2025).

Király G. 2007. *Vörös Lista. A magyarországi edényes flóra veszélyeztetett fajai*. [*Red list of the vascular flora of Hungary*]. Sopron: Saját kiadás, 73 pp.

Ovchinnikov P.N. 1937. *Ranunculus*. In: *Flora SSSR*. Vol. 7. Ed. V. K. Schischkin. Moscow; Leningrad: AN SSSR, 351–509 pp. [Овчинников П.Н. 1937. *Ranunculus*. В кн.: *Флора СССР*. Т. 7. Ред. В.К. Шишкин. Москва; Ленинград: Издательство АН СССР, с. 351–509.

Kricsfalusy V.V., Budnikov H.B., Mihaly A.V. 1999. *Red List of Transcarpathia: endangered plant species and plant communities*. Uzhhorod: Zakarpattia, Patent, 196 pp. [Крічфалушій В.В., Будніков Г.Б., Мигаль А.В. 1999. *Червоний список Закарпаття: види рослин та рослинні угруповання, що перебувають під загрозою зникнення*. Ужгород: "Закарпаття", "Патент", 196 с.]

Lansdown R.V., Rhazi L. 2014. *Ranunculus lateriflorus*. In: *The IUCN Red List of Threatened Species* 2014: e.T164495A42405956. https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2014-1.RLTS.T164495A42405956.en (Accessed 10 April 2025).

Margittai A. 1933. Addidamenta ad floram Carpatorum Septentrionali-orientalium. *Magyar Botanikai Lapok*, 32: 95–104.

Milkina L.I. 1988. Climate. In: *Ukrainian Carpathians. Nature*. Kyiv: Naukova Dumka, pp. 38–44. [Мілкіна Л.І. 1988. Клімат. В кн.: *Українські Карпати. Природа*. Київ: "Наукова думка", с. 38–44.]

Milkina L.I. 1988. Soils. In: *Ukrainian Carpathians. Nature*. Kyiv: Naukova Dumka, pp. 45–50. [Мілкіна Л.І. 1988. Ґрунти. В кн.: *Українські Карпати. Природа*. Київ: "Наукова думка", с. 44–50.]

Morozyuk S.S. 1987. *Buschia*. In: *Opredelitel vysshikh rasteniy Ukrainy*. 1987. Eds Yu.N. Prokudin, D.N. Dobrochayeva, B.V. Zaverukha, V.I. Chopik, V.V. Protopopova, L.I. Kritskaya. Kyiv: Naukova Dumka, p. 52. [Морозюк С.С. 1987. *Buschia*. *Определитель высших растений Украины*. Ред. Ю.Н. Прокудин, Д.Н. Доброчаева, Б.В. Заверуха, В.И. Чопик, В.В. Протопопова, Л.И. Крицкая. Киев: Наукова думка, с. 52.]

Mykyta M., Salyuk M. 2013. Morphostructures and morphosculptures of Chop-Mukachevo plain. *Scientific Bulletin of Uzhhorod University. Series: Geography. Land management. Nature management*, 2: 21–25. [Микита М., Салюк М. 2013. Морфолого-структурні та морфолого-скульптурні особливості Чоп-Мукачівської рівнини. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Географія. Землекористування. Природокористування*, 2: 21–25.]

Onyshchenko V.A., Mosyakin S.L., Korotchenko I.A., Danylyk I.M., Burlaka M.D., Fedoronchuk M.M., Chorney I.I., Kish R.Ya., Olshanskyi I.H., Shiyan N.M., Zhygalova S.L., Tymchenko I.A., Kolomiychuk V.P., Novikov A.V., Boiko G.V., Shevera M.V., Protopopova V.V. 2022. *IUCN Red List categories of vascular plant species of the Ukrainian flora*. Kyiv: FOP Huliaeva V.M., 198 pp.

Ozymko R., Karabiniuk M. 2023. Characterization of modern climatic conditions and manifestations of climate change. In: *Ecological problems of Transcarpathia*. Eds N. Kablak, L. Felbaba-Klushyna. Uzhhorod: RIK-U, pp. 45–63. [Озимко Р., Карабінюк М. 2023. Характеристика сучасних кліматичних умов та прояви зміни клімату. В кн: *Екологічні проблеми Закарпаття*. За ред. Н. Каблак, Л. Фельбаби-Клушиної. Ужгород: РІК-У, с. 45–63.]

POWO. 2025–onward. *Plants of the World Online*. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Available at: https://powo.science.kew.org/ (Accessed 10 April 2025).

Prots B., Kagalo A. 2012. *Catalogue of habitat types of the Ukrainian Carpathians and Transcarpathian Lowland*. Lviv: Mercator. 294 pp. [Проць Б., Кагало А. 2012. *Каталог типів оселищ Українських Карпат і Закарпатської низовини*. Львів: Меркатор, 294 с.]

Thiers B. 2025–onward. *Index Herbariorum*. A global directory of public herbaria and associated staff. New York Botanical Garden's Virtual Herbarium. Available at: http://sweetgum.nybg.org/science/ih/ (Accessed 10 April 2025).

Visiulina O.D. 1953. *Ranunculus*. In: *Flora URSR*. Vol. 5. Eds M.V. Klokov, O.D. Visiulina. Kyiv: Vydavnytstvo AN URSR, pp.109–137. [Вісюліна О.Д. *Ranunculus*. В кн.: *Флора УРСР*. Т. 5. Ред. М.В. Клоков, О.Д. Вісюліна. Київ: Видавництво АН УРСР, с. 109–137.]

Vovk O., Orlov O. 2005. Soil conservation in floodplain complexes of Transcarpathia as the precondition of environmental stability of the region. *Scientific Bulletin of Chernivtsi National University. Biology*, 257: 51–56. [Вовк О., Орлов О. 2005. Охорона ґрунтів у заплавних комплексах Закарпаття як передумова екологічної стабільності регіону. *Науковий вісник Чернівецького національного університету. Біологія*, 257: 51–56.]

***Ranunculus lateriflorus* (*Ranunculaceae*) на Притисянській низовині (Україна): поширення, екологічна та созологічна оцінка**

М. ДУДАШ [1], Л. ФЕЛЬБАБА-КЛУШИНА [2]
[1] Кафедра біології рослин, Інститут біології та екології, факультет природничих наук, Університет імені Павла Йозефа Шафарика (Словацька республіка)
[2] Кафедра ботаніки, біологічний факультет ДВНЗ "Ужгородський національний університет"

Реферат. Трансформація ландшафтів і порушення гідрологічного режиму басейну річки Тиси в умовах кліматичних змін призвели до зникнення багатьох видів гідро- та гігрофільних судинних рослин через руйнування їхніх оселищ від низовини до субальпійського поясу Східних Карпат. Один із таких видів, *Ranunculus lateriflorus*, відомий лише з п'яти ділянок на півдні та заході України, тривалий час вважався зниклим на території Закарпатської області. Поширення виду було проаналізовано на основі вивчення зразків, що зберігаються у державних гербарних колекціях, та інтенсивних польових досліджень у 2022–2025 роках на території Притисянської низовині. Встановлено, що *R. lateriflorus* локально поширений між містами Ужгородом та Чопом і селищем Батьово і займає польові западини з тимчасовими водоймами, у яких накопичуються солі, та невеликі солонуваті болота. У статті наведено перелік місцезнаходжень та їхні характеристики, а також проаналізовано відношення виду до провідних екологічних факторів. Відповідно до методології МСОП було визначено созологічний статус виду в Україні й класифіковано його як такий, що перебуває під загрозою зникнення (EN). Для охоплення виявлених місцезнаходжень і забезпечення збереження *Ranunculus lateriflorus* у Закарпатській обл. ми вважаємо за доцільне розширити територію існуючого Притисянського регіонального ландшафтного парку.

Ключові слова: басейн річки Тиси, вид під загрозою зникнення, заплавні луки, панонські напівсолоні луки, оселища, охорона, Червоний список МСОП, *Ranunculus lateriflorus*

HERBARIUM CURATION
ГЕРБАРНА СПРАВА

https://doi.org/10.15407/ukrbotj83.02.102
REVIEW ARTICLE

Microalgae Culture Collection of the M.G. Kholodny Institute of Botany (IBASU-A): a 65-year history

Olena V. BORYSOVA [1], Olga V. BUROVA [1*], Tatiana I. MIKHAILYUK [1], Mariana O. KONISHCHUK [1], Thomas FRIEDL [2]

[1] M.G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine, 2 Tereschenkivska Str., Kyiv 01601, Ukraine

[2] Experimental Phycology and Culture Collection of Algae (SAG), Albrecht-von-Haller-Institute for Plant Sciences, Georg August University Göttingen 18 Nikolausberger Weg, Göttingen 37073, Germany

* Author for correspondence: *olga_burova@yahoo.com*

Abstract. This article presents the Microalgae Culture Collection of the M.G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine (IBASU-A), which was established by Professor Nadiya P. Massjuk in 1960. Currently, it is the largest algal collection in Ukraine and has been designated as an Ukrainian National Heritage unit since 2013. The structure, history, and development of the collection are described. It maintains 500 strains representing 186 prokaryotic and eukaryotic species from 100 genera and 10 classes, including *Cyanobacteria* (32 species), *Chlorophyta* (125), *Charophyta* (23), *Euglenophyta* (2), and *Heterokontophyta* (6). The IBASU-A holdings include halophilic, freshwater, and terrestrial algae, as well as biotechnologically significant strains, rare taxa, authentic strains (ex-type cultures, etc.), and a unique collection of bacterial associates of algae. The primary mission of IBASU-A is the isolation, preservation, management, and supply of algal strains for academic research and biotechnology. Several strains of taxa belonging to the families *Chlorellaceae*, *Scenedesmaceae*, and *Selenastraceae* have been successfully employed in various applied projects, serving as test objects for assessing the toxicity and carcinogenicity of organic substances, as well as biological agents for industrial waste treatment and high-yield biomass producers for biofuel production. A feature of the IBASU-A collection is that, along with algae cultures, strains of bacteria accompanying microalgae in nature (bacterial consorts) are deposited there: 270 strains isolated from 45 xenic cultures of green algae.

Keywords: authentic strains, bacterial consorts, biodiversity, biotechnology, collection, cultures, cyanobacteria, ex-type cultures, IBASU-A, microalgae, National Heritage, rare species

The Microalgae Culture Collection of Ukraine (acronym IBASU-A) marked its 65th year of continuous operation in 2025. It was established by Professor Nadiya P. Massjuk, initially for the use of algal cultures of halophilic flagellate algae in basic and applied studies according to scientific priorities

ARTICLE HISTORY. Submitted 14 May 2025. Revised 24 March 2026. Published 30 April 2026

CITATION. Borysova O.V., Burova O.V., Mikhailyuk T.I., Konishchuk M.O., Friedl T. 2026. Microalgae Culture Collection of the M.G. Kholodny Institute of Botany (IBASU-A): a 65-year history. *Ukrainian Botanical Journal*, 83(2): 102–119. https://doi.org/10.15407/ukrbotj83.02.102

© M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine, 2026
© Publisher PH "Akademperiodyka" of the NAS of Ukraine, 2026

This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

of the Department of Phycology at the M.G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine. The first strains of *Dunaliella salina* (Dunal) Teodor. were isolated in 1960 from Crimean salt waterbodies with a focus on their biological potential as producers of β-carotene, bioactive compounds, microalgae mass cultures, and animal and aquaculture feeds. Then, the diversity of species of *Dunaliella* Teodor. in this collection started to increase in size. Most of the halophilic flagellates were collected by Nadiya P. Massjuk from various habitats, including salt lakes, lagoons, pools, and saline soils in Ukraine as well as Azerbaijan, Kyrgyzstan, Turkmenistan, and Uzbekistan. Some samples, which were sent by colleagues from Western Siberia and Israel, enriched the diversity and scientific value of the collection (Yunger, Tereshchuk, 1990).

During the 1960s and 1970s, the IBASU-A collection was extensively explored in research on the morphology, systematics, ecology, and biogeography of *Dunaliella* species. Such work contributed to a deeper understanding of the genus, including the description of new species and insights into their adaptation to various saline environments. Nadiya P. Massjuk is acknowledged as the author of 12 species within the genus *Dunaliella*. These include: *Dunaliella asymmetrica* Masjuk, *D. carpatica* Masjuk (a Carpathian endemic discovered in Romania and Ukraine), *D. granulata* Masjuk, *D. maritima* Masjuk (a marine species), *D. minutissima* Masjuk, *D. pseudosalina* Masjuk & M.I. Radcz., *D. terricola* Masjuk, *D. turcomanica* Masjuk (Asian endemic from Turkmenistan), *D. baas-beckingii* Masjuk, *D. gracilis* Masjuk, *D. jacobae* Masjuk, and *D. ruineniana* Masjuk (Australian endemic). Most of these species were described based on strains and specimens collected from various regions around the world, including Europe, Asia, and Australia. These taxa make up a significant portion of the 27 recognized *Dunaliella* species globally. In addition to these new species, two taxa were reclassified by Nadiya P. Massjuk as new combinations due to their transfer from other genera: *Dunaliella acidophila* (Kalina) Masjuk (previously *Spermatozopsis acidophila* Kalina), a European endemic from the Czech Republic, and *D. obliqua* (Pascher) Masjuk (formerly *Apiochloris obliqua* Pascher), with the respective strain also originating from the Czech Republic (Borowitzka, Siva, 2007; Guiry, Guiry, 2026).

Beyond their importance in fundamental scientific research, the *Dunaliella* strains were extensively investigated for their potential biotechnological applications, focusing on their ability to synthesize valuable compounds, including enzymes, proteins, and vitamins, especially β-carotene, a pigment of significant economic and nutritional importance. The pioneering studies conducted during this period laid the foundation for future applied research and commercial applications of the genus *Dunaliella*. In addition to their significant scientific and biotechnological value, selected strains from the genera *Dunaliella* and *Pedinomonas* Korshikov were patented (Massjuk et al., 1984; Mikhailyuk et al., 2010). These patents underscored the importance of the collection's strains not only for scientific research but also for their potential in various industrial and commercial applications, including biotechnology uses.

Throughout the 1980s, the IBASU-A collection at the M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine, played a pivotal role in advancing applied scientific research using its halophilic flagellate cultures. These cultures were highly valued for their pronounced sensitivity to environmental changes, making them effective bioindicators. As bioindicators, they provided reliable data for assessing environmental conditions across various experimental procedures. Due to their unique biological characteristics, these strains proved excellent models for investigating the intricacies of algal photomovement (Massjuk et al., 2007).

In addition to their use in environmental studies, ten *Dunaliella* strains were selected for mass cultivation in space biology projects. These strains were specifically chosen for a series of space experiments, in which their distinctive biological characteristics made them exceptional models for studying the complexities of algal photomovement. Their responses to light and other environmental factors provided valuable insights into biological processes under the unique conditions encountered in space (Massjuk et al., 2007).

Moreover, some IBASU-A strains of the *Dunaliella* species were also used in ecological studies examining interactions between halophilic algae and their associated bacterial communities. These investigations explored the complex relationships within these specialized microbial consortia, shedding light on how halophilic algae interact with bacteria in their natural environments. The research

contributed valuable knowledge about the dynamics and ecological significance of these associations, enhancing the understanding of microbial consortia in saline habitats (Borisova, Tsarenko, 2004).

By 1995, the IBASU-A collection initially contained mainly representatives of halophilic algae from the family *Dunaliellaceae* (135 cultures), collected in Ukraine and some other countries, and significantly fewer species of freshwater algae from the families *Chlorellaceae* and *Scenedesmaceae* (20 cultures), obtained some algal strains from the Culture Collection of Algae and Protozoa (CCAP, UK), Culture Collection of Autotrophic Organisms (CCALA, Czech Republic), and the Culture Collection of Algae at the University of Texas at Austin (UTEX, USA). These cultures were used for bioassay testing and some experiments as model organisms in toxicological studies (Lenova, Stupina, 1990; Lenova et al., 1991). However, this composition was no longer sufficient for the Department's subsequent research objectives, which focused on the study of algal biodiversity in Ukraine. Consequently, the halophilic algal collection was downsized by removing duplicate strains and shifting the focus toward new isolates obtained by individual researchers from various water bodies across Ukraine, which were subsequently deposited into the IBASU-A collection. As a result, the collection was established in its present state.

The first catalog of the IBASU-A algae collection was published in 1990 and contained information on 138 strains of *Dunaliella*, *Asteromonas* Artari, and *Platymonas* G.S. West (= *Tetraselmis* F. Stein) (Yunger, Tereshchuk, 1990). Updated catalogs were published in 2014 and 2020 (Borysova et al., 2014, 2020), and since 2024 detailed information about the IBASU-A strains has been available on the website (https://ibasu-a.kiev.ua/). A series of articles analyzing the collection has also been published (Junger, Tereshchuk, 1990; Borisova, Tsarenko, 2003, 2004; Borysova et al., 2016; Tsarenko et al., 2020).

This article presents updated information on the structure, composition, and potential of the IBASU-A collection, which maintains strains of cyanobacteria and microalgae (i.e., organisms nomenclaturally treated as algae: see Preamble 8 and Art. 44 of the *International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants* (*ICN*, *Madrid Code*: Turland et al., 2025), as well as bacterial consorts of algae.

The IBASU-A collection is continually updated with new algal strains from various regions of Ukraine and other countries. Enrichment cultures are established from environmental samples. New strains are isolated by micropipetting individual cells under a microscope or by serial streaking onto agar-containing Petri dishes, followed by isolation of individual colonies (Algae..., 1989; Kostikov et al., 2001; Andersen, Kawachi, 2005).

The collection is maintained on both liquid and agar nutrient media, with cultures stored in test tubes, flasks, and Petri dishes. To ensure reliable preservation, each strain is kept in 2–3 replicates. Most cultures are xenic and maintained in illuminated growth chambers at 15–20 °C or in glass-door incubators at 10–15 °C. Only a small portion of the collection is axenic (21 strains), and these cultures are stored on agar media in refrigerators at 4 °C. Cultures are regularly subcultured onto fresh nutrient media (1 to 5 times per year, typically quarterly). Depending on the biological characteristics of the microalgal species, approximately nine nutrient media with different mineral compositions are used, including Artari, Bold Basal, Burrelli, Tamiya, Chu 13, BG-11, etc. (Borysova et al., 2016, 2020). For the cultivation of certain algal species, nutrient media are supplemented with vitamins B_1 and B_{12}, glucose, urea, yeast autolysate, or soil extract. Microalgal cultures are regularly monitored, both visually and microscopically, for viability and the absence of contaminants (such as fungi, protists, or other algae). Additionally, subculturing onto organic-rich agar media is used to detect and exclude fungal contamination. In the event of contamination, strains are purified by subculturing onto agar media and subsequently isolating non-contaminated algal colonies.

Strains of bacterial consorts are cultivated on meat-peptone agar with 1.0% starch and are maintained under refrigeration at 4 °C. Subculturing is performed 3–4 times a year. The work in the IBASU-A as well as images of culture collection facilities and algal cultures are presented on Fig. 1.

At present, IBASU-A is the largest algal collection in Ukraine. Since 2013, it has been designated as a Ukrainian National Heritage unit (Resolution..., 2013). Due to its significant size and unique taxonomic composition, the collection is recognized as a world-class biological resource. It is registered in the World Federation for Culture Collection with registration number WDCM1282. In 2024, a website for the collection was launched (https://ibasu-a.kiev.ua/), providing general information, contact



Fig. 1. The work in the IBASU-A and images of culture collection facilities and algal cultures. A: transferring algae on fresh media, work with the laminar flow (Dr. O. Borysova); B: investigation of algal strains with molecular phylogenetic methods (Dr. T. Mikhailyuk); C: preparation of nutrient media, work with the steam sterilizer (M. Konishchuk); D: microscopy of algal strains (Dr. O. Burova); E–G: flasks and tubes with algal cultures in the cultivation chamber (E) and on shelves in the culture rooms (F, G)

Table 1. **Taxonomic structure of IBASU-A collection**

Phylum	Number of			
	Classes	Genera	Species / infraspecific taxa	Strains
Cyanobacteria	1	23	32	50
Euglenophyta	1	1	2	2
Heterokontophyta	2	6	6	7
Chlorophyta	3	63	124/125	403
Charophyta	3	7	22/23	38
Total	**10**	**100**	**186/188**	**500**

details, and an online catalog of the IBASU-A algal strains.

IBASU-A includes 500 strains of 186 prokaryotic and eukaryotic species, including their varieties, which belong to 100 genera, 10 classes, and represent *Cyanobacteria* (32), *Chlorophyta* (125), *Charophyta* (23), *Euglenophyta* (2), and *Heterokontophyta* (6 species) (Table 1).

The main part of the collection (403 strains) consists of green algae (*Chlorophyta*), the leading taxonomic group in the Ukrainian algal flora (Algae of Ukraine…, 2011; Tsarenko et al., 2024), followed by *Cyanobacteria* (50), *Charophyta* (38), *Heterokontophyta* (7), and *Euglenophyta* (2).

The genera with the greatest number of algal species and strains are *Chlamydomonas* Ehrenb. (eight species and 27 strains), *Chlorella* Beij. (two species, 20 strains), *Coelastrum* Nägeli (four species and 11 strains), *Desmodesmus* (Chodat) An, Friedl & E. Hegewald (17 species, 18 infraspecific taxa and 73 strains), *Dunaliella* (six species and 38 strains), *Oocystis* Nägeli ex A. Braun (four species and 13 strains), *Tetradesmus* G.M. Sm. (five species and 34 strains), *Stichococcus* Nägeli (four species and 17 strains), and *Klebsormidium* P.C. Silva, Mattox & W.H. Blackw. (12 species, 13 infraspecific taxa and 25 strains).

The funds of IBASU-A include cultures of halophilic, freshwater, and terrestrial algae; collections of algal strains with valuable biotechnological properties; strains of rare species; authentic strains (ex-type and other nomenclaturally important cultures); and bacterial strains isolated from algal xenic cultures (Borysova et al., 2016, 2020). The basis of the collection are the strains isolated from freshwater and terrestrial habitats across various Ukrainian regions and in some countries of Europe (the Czech Republic, Germany, Slovakia, UK, France, Russian Federation), Asia (Georgia, Israel, Iran), Africa (Egypt, South Africa), and North and South America (the USA, Chile, Peru, Cuba), as well as the island of Svalbard (Fig. 2).

The halophilic algae (40 strains) from the collection of Nadiya P. Massjuk are represented by species of *Asteromonas* and *Dunaliella* (*Chlorophyta*) isolated from halophilic habitats in southern Ukraine, Azerbaijan, Kyrgyzstan, and Turkmenistan.

The collection of freshwater and terrestrial algae (403 strains) constitutes the largest component of IBASU-A. It comprises strains isolated from environmental samples collected by Ukrainian phycologists during investigations of algal diversity in freshwater and terrestrial habitats across Ukraine and several other countries (Borysova et al., 2020). Most strains were gathered in the 1990–2010s during numerous expeditions in physiographic regions of Ukrainian Polissia (Volyn, Zhytomyr, Rivne, Kyiv, Chernihiv regions), Forest-Steppe (Vinnytsia, Lviv, Khmelnitsky, Cherkasy regions), Steppe (Donetsk, Zaporizhzhia, Mykolaiv, Odesa, Kharkiv, Kherson regions), the Ukrainian Carpathians (Transcarpathian, Chernivtsi regions), and the Crimean Peninsula. Moreover, a substantial portion of the cultures was deposited from personal collections, including collection of *Scenedesmaceae* (107 strains) isolated by Petro M. Tsarenko while studying the algal diversity of Shatsk Lakes (Volyn Region) and other regions of Ukraine, Mecklenburg Lake District (Germany), Hula Valley (Israel), and algal growth on technogenic materials in Georgia (Tsarenko et al., 1996, 1997, 2005; Borysova et al., 2020, 2024).

From taxonomic and biodiversity perspectives, the strains from Tatyana M. Darienko's collection (28 strains) are of particular interest. These primarily include *Volvocales* species isolated from soils in the Trakhtemyriv Regional Landscape Park (Kyiv Region) and on Zmiinyi (Snake) Island (Odesa Region, Ukraine).

Significant contributions to the collection's development have been made by Tatiana I.

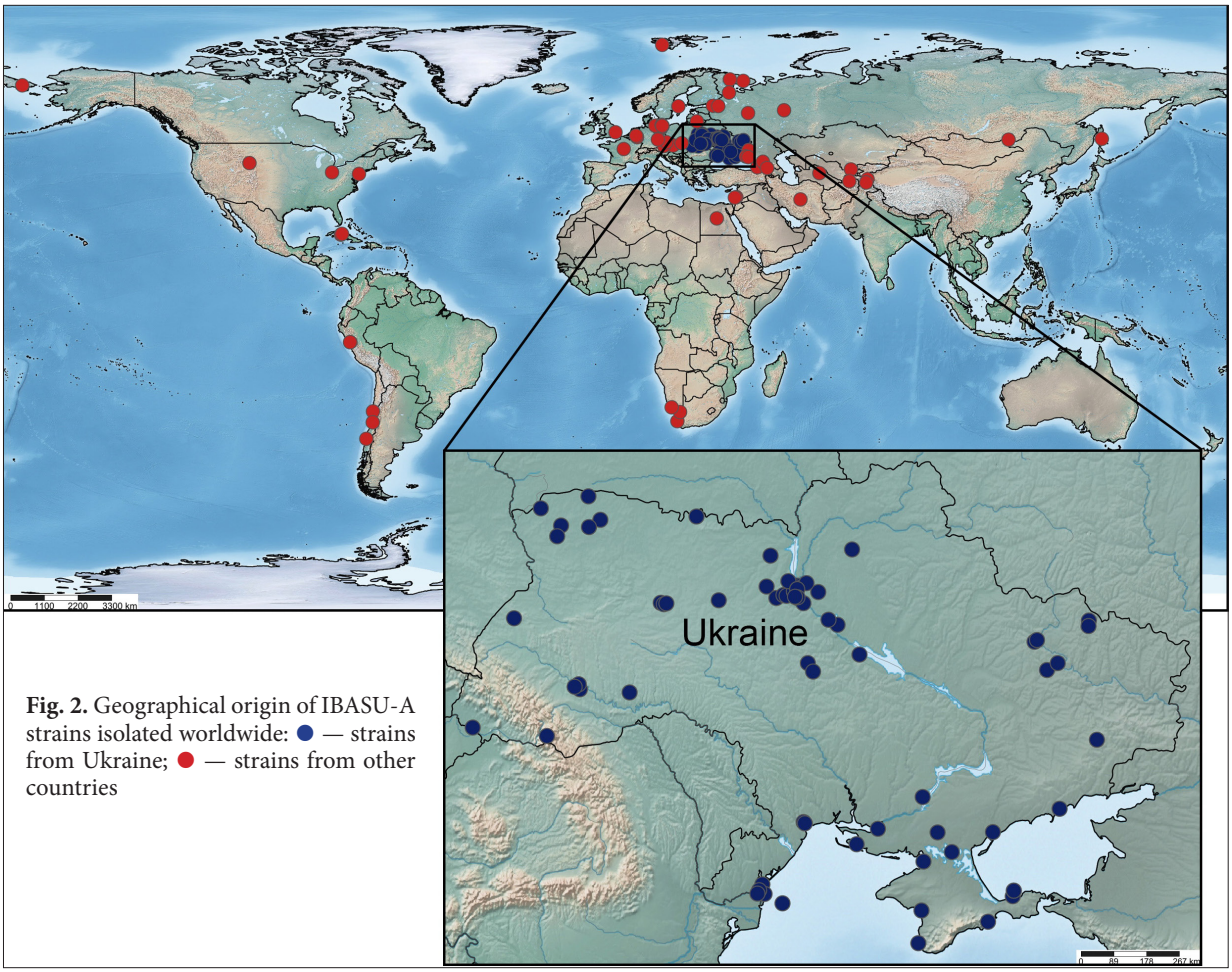


Fig. 2. Geographical origin of IBASU-A strains isolated worldwide: ● — strains from Ukraine; ● — strains from other countries

Mikhailyuk and Eduard M. Demchenko, who isolated 111 strains from terrestrial habitats across various regions of Ukraine. These include protected areas in the Kyiv, Cherkasy, Ivano-Frankivsk, Kharkiv, Kherson, Zhytomyr, and Odesa regions, as well as Crimea (Mikhailyuk et al., 2018b, 2021, 2025), and from Germany, Iran, and some other countries (Mikhailyuk et al., 2019a). The majority of strains were isolated as part of a targeted investigation of algae and cyanobacteria from biological soil crusts. During this investigation, taxonomic revisions of algal and cyanobacterial taxa in the genera *Timaviella* Sciuto & Moro, *Oculatella* Zammit, Billi & Albertano, *Interfilum* Chodat, *Klebsormidium*, and others were conducted. New species and genera (*Carminoleptolyngbya* Mikhailyuk & Vynogradova, *Kondratevia* Mikhailyuk & Vynogradova, *Streptofilum* Mikhailyuk & Lukešová, *Streptosarcina* Mikhailyuk & Lukešová) have been described, and some strains were proposed as epitypes of known taxa. Additionally, Tatiana I. Mikhailyuk has deposited in IBASU-A a series of strains obtained from other culture collections or individual scientists, e.g., from the culture collections of Rostock University, Germany, and the Institute of Soil Biology at České Budejovice, Czech Republic.

Overall, the freshwater algae collection comprises 48 species, primarily from the families *Scenedesmaceae* (12 genera, 37 species), *Chlorellaceae* (4 genera, 5 species), and *Selenastraceae* (3 genera, 6 species). The use of IBASU-A strains in basic and applied research has clarified the roles of algae and their associated bacteria in the bioremediation of industrial wastewater. Specifically, studies have examined the removal of chemical by-products and mineral fertilizers, as well as the species-specific transformation of carcinogenic nitrosamines and other organic compounds in aquatic ecosystems (Lenova, Stupina, 1990; Lenova et al., 1991; Stupina, Borisova, 2002; Borysova et al., 2020). The potential

of algal-bacterial complexes as model systems in aquatic toxicology experiments was demonstrated (Borisova et al., 2000, 2020). Additionally, IBASU-A strains were screened to identify promising candidates for biodiesel production. Selection was based on key criteria, including rapid biomass growth, stress tolerance, resistance to contamination, and significant lipid accumulation. The data were compared with those of known high-biomass producers. Consequently, a new sub-collection of promising strains for bioenergy production was established. It comprises 33 strains of 18 species from the following genera: *Botryococcus* Kütz. (four), *Chlorella* (nine), *Chloroidium* Nadson (two), *Desmodesmus* (seven), *Monoraphidium* Komárk.-Legn. (three), *Parachlorella* Krienitz & al. (three), *Raphidocelis* Hindák (one), and *Tetradesmus* (three) (Borysova, Tsarenko, 2021). Overall, IBASU-A comprises 80 strains with valuable biotechnological properties, including the aforementioned specialized bioenergy collection. These consist of both well-known industrial cultures and unique Ukrainian isolates (Tsarenko et al., 2012, 2016, 2020) (Table 2, Fig. 3).

The collection of rare species and authentic strains comprises mostly species and varieties described as new to science by Ukrainian and other authors from Ukraine and some other countries (Table 3, Figs 4, 5). In preserving authentic strains (ex-type and other nomenclaturally significant cultures), we follow the provisions of the *International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants* (*ICN*, *Madrid Code*: Turland et al., 2025), specifically its Recommendation 8B.1 ("Whenever practicable a living culture should be prepared from the holotype material of the name of a newly described taxon of algae or fungi and deposited in at least two institutional culture or genetic resource collections"). Species rare for the algal flora of Ukraine were found in Turske Lake (Volyn Region): *Desmodesmus curvatocornis* (Proshk.-Lavr.) E. Hegewald, *D. histrix* (Lagerh.) E. Hegewald, *D. multivariabilis* var. *turskensis* P.M. Tsarenko & E.

Table 2. **IBASU-A algae strains with biotechnological importance**

Species	IBASU-A strain number	Origin	Field of usage
CYANOBACTERIA			
Oscillatoriales, Microcoleaceae			
Limnospira platensis (Gomont) K.R.S. Santos & Hentschke	700	unknown	Food, pharmaceutical, medical
Nostocales*, *Aphanizomenonaceae			
Anabaena cylindrica Lemmerm.	816	UK	Food, pharmaceutical, medical
CHLOROPHYTA			
CHLOROPHYCEAE			
Chlamydomonadales, Asteromonadaceae			
Asteromonas gracilis Artari	65, 66	Ukraine, Kherson Region; Russian Federation	Food, pharmaceutical, medical, aquaculture
Chlamydomonadales, Dunaliellaceae			
Dunaliella salina (Dunal) Teodor.	2–4, 6, 10–12, 16, 20	Ukraine, Odesa, Kherson regions, Crimea	Food, pharmaceutical, medical
D. viridis Teodor.	22, 24, 42, 56	Ukraine, Kherson, Zaporizhzhia regions, Crimea	Aquaculture
Chlamydomonadales, Haematococcaceae			
Haematococcus lacustris (Gir.-Chantr.) Rostaf.	219, 461, 462, 464	Ukraine, Kyiv Region, Crimea; Russian Federation, Caucasus	Bioenergetics, food, pharmaceutical, medical
Sphaeropleales, Selenastraceae			
Messastrum gracile (Reinsch) T.S. Garcia	316–318, 580	Ukraine, Kyiv; Germany	Bioenergetics
Monoraphidium griffithii (Berk.) Komárk.-Legn.	493, 494	Ukraine, Kyiv Region	Bioenergetics, bioremediation

Table 2 (continued)

Species	IBASU-A strain number	Origin	Field of usage
M. saxatile Komárk.-Legn.	364	Ukraine, Volyn Region	Bioenergetics, bioremediation
Monoraphidium sp.	166, 378, 379, 572–574	Ukraine, Kyiv, Kharkiv regions	Bioenergetics, food, pharmaceutical, medical
Raphidocelis subcapitata (Korshikov) Nygaard & al.	358, 360, 363	Ukraine, Donetsk, Volyn regions	Bioenergetics, bioremediation
Sphaeropleales, Scenedesmaceae			
Desmodesmus armatus (Chodat) E. Hegewald	263, 270, 337	Ukraine, Kyiv Region	Bioenergetics, bioremediation
D. curvatocornis (Proshk.-Lavr.) E. Hegewald	384	Ukraine, Volyn region	Bioenergetics
D. magnus (Meyen) P.M. Tsarenko	401, 402	Russian Federation, Sakhalin	Bioenergetics
D. multivariabilis var. *turskensis* P.M. Tsarenko & E. Hegewald	398	Ukraine, Volyn Region	Bioenergetics
D. pannonicus (Hortob.) E. Hegewald	381, 382	Germany	Bioenergetics
D. subspicatus (Chodat) E. Hegewald & A.W.F. Schmidt	408, 701	Ukraine, Kharkiv, Transcarpathian regions	Bioenergetics
Scenedesmus obtusus Meyen	297	Germany	Bioenergetics, bioremediation
Tetradesmus arenicola Mikhailyuk & P.M. Tsarenko	522, 523	Ukraine, Odesa Region; Germany	Food, pharmaceutical, medical
T. dimorphus (Turpin) M.J. Wynne	251, 255, 258, 259	Ukraine, Cherkasy, Khmelnytskyi, Kyiv, Transcarpathian regions	Food, pharmaceutical, medical, agriculture, bioenergetics, bioremediation
T. obliquus (Turpin) M.J. Wynne	473, 529	Peru	Bioenergetics, bioremediation
Coelastrella sp.	527, 528	Ukraine, Kyiv, Khmelnytskyi regions	Bioenergetics
TREBOUXIOPHYCEAE			
Trebouxiales, Botryococcaceae			
Botryococcus braunii Kütz.	428, 429, 432, 433, 434, 435, 437	Ukraine, Kyiv, Chernihiv, Transcarpathian, Volyn, Zhytomyr regions	Bioenergetics
Chlorellales, Chlorellaceae			
Chlorella vulgaris Beij.	189–192, 452, 472; 453, 715–717	Russian Federation, Caucasus, Chukotka; Ukraine, Kharkiv Region	Food, pharmaceutical, medical, agriculture, bioenergetics, bioindication, bioremediation
Parachlorella kessleri (Fott & Nováková) Krienitz & al.	197–200, 444	Ukraine, Kyiv Region; Russian Federation, Saint Petersburg; USA, Pennsylvania	Food, pharmaceutical, medical, bioenergetics
Watanabeales, Watanabeaceae			
Chloroidium saccharophilum (W. Krüger) Darienko & al.	187, 481	Ukraine, Kyiv; Germany	Bioenergetics, bioindication, bioremediation

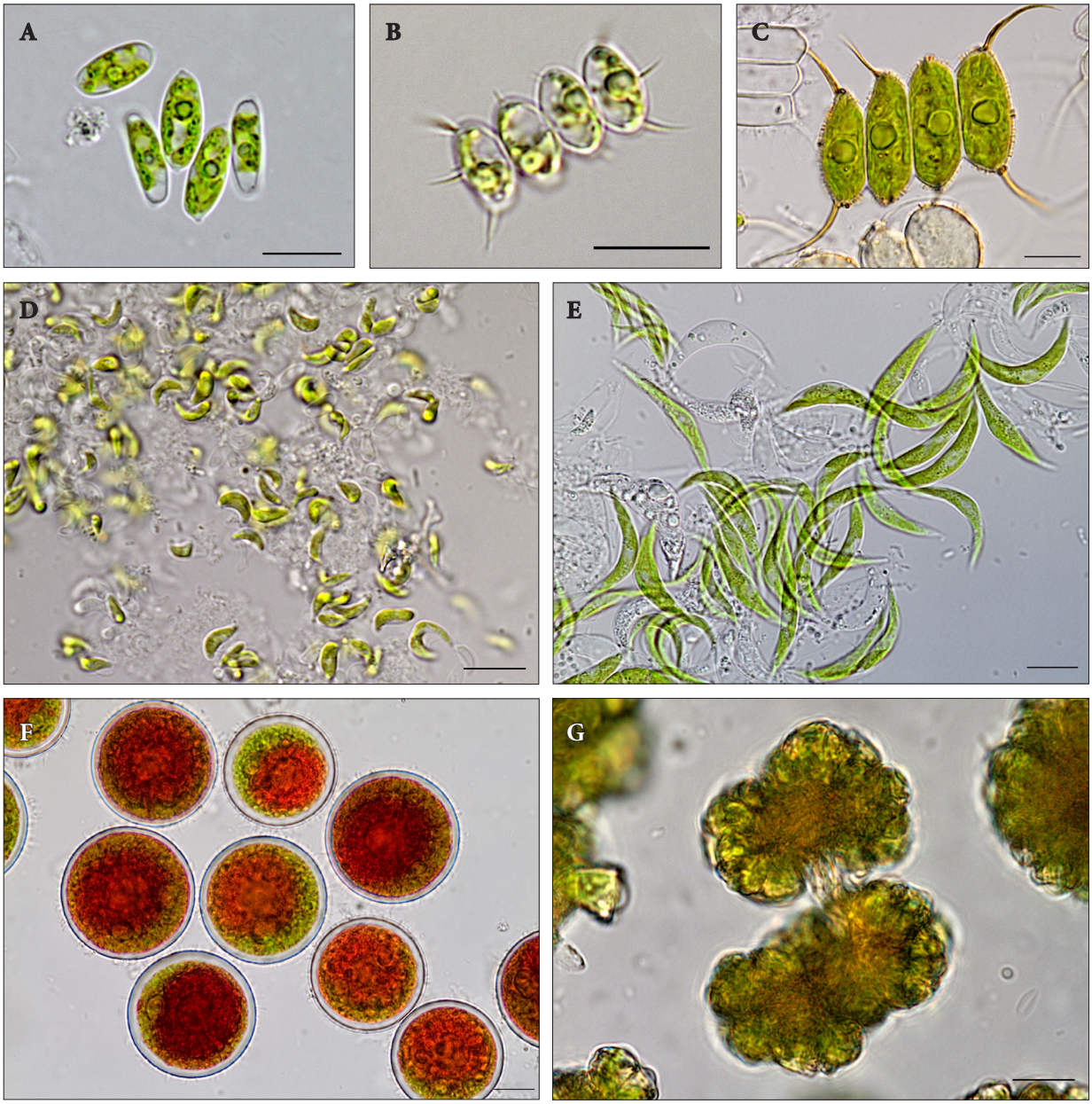


Fig. 3. Some biotechnologically valuable strains of *Chlorophyta* in the collection. A: IBASU-A-297 *Scenedesmus obtusus*; B: IBASU-A-396 *Desmodesmus subspicatus*; C: IBASU-A-385 *D. magnus*; D: IBASU-A-572 *Monoraphidium* sp.; E: IBASU-A-318 *Messastrum gracile*; F: IBASU-A-464 *Haematococcus lacustris*; G: IBASU-A-434 *Botryococcus braunii*. Scale bars: 10 μm

Hegewald, *D. perforatus* var. *iberaënsis* (Tell) E. Hegewald & S.L. Jeon, and *D. serratus* (Corda) S.S. An, Friedl & E. Hegewald (Tsarenko et al., 2005). Several authentic strains of cyanobacteria and green algae in the collection were investigated during studies of biological soil crusts or other terrestrial habitats in Ukraine, Germany, the Czech Republic, Slovakia, South Africa, Chile, and Svalbard. More detailed information is provided in Table 3.

Moreover, IBASU-A is the only collection in Europe where, along with cultures of halophilic, freshwater, terrestrial and soil algae, the strains of bacteria accompanying microalgae in nature (bacterial consorts) are stored. 270 strains of bacterial

Table 3. **Authentic strains in IBASU-A collection**

Species	IBASU-A strain number	Isolated by	Locality	References
CYANOBACTERIA				
Leptolyngbyales				
Carminoleptolyngbya arenaria Mikhailyuk & Vynogradova	750	Mikhailyuk T.I., 2013	Germany, Mecklenburg-Vorpommern, Warnemünde, the coast of the Baltic Sea, sand dunes, soil biocrust	Mikhailyuk et al., 2026
Oculatellales				
Oculatella kazantipica Vynogradova & Mikhailyuk	853	Mikhailyuk T.I., 2012	Ukraine, Crimea, Kazantyp Nature Reserve, Shyroka Bay, coast of the Sea of Azov, shell sand, soil biocrust	Vinogradova et al., 2017
O. ucrainica Vynogradova & Mikhailyuk	762	Mikhailyuk T.I., 2012	Ukraine, Crimea, vicinity of the Kazantyp Nature Reserve, spit of Aqtas Lake, coast of the Sea of Azov, shell sand, soil biocrus	Vinogradova et al., 2017
Timaviella dunensis Mikhailyuk & Vynogradova	754	Mikhailyuk T.I., 2013	Germany, Mecklenburg-Vorpommern, Usdom Island, vicinity of Zempin, coast of the Baltic Sea, sand dunes, soil biocrust	Mikhailyuk et al., 2022
T. edaphica (Elenkin) Vynogradova & Mikhailyuk	751	Mikhailyuk T.I., 2012	Ukraine, Crimea, vicinity of the Kazantyp Nature Reserve, spit of Aqtas Lake, coast of the Sea of Azov, shell sand, soil biocrust	Vinogradova, Mikhailyuk, 2018; Mikhailyuk et al., 2022
Oscillatoriales				
Kondratevia charkoviensis Vynogradova & Mikhailyuk	845	Demchenko E.M., 2014	Ukraine, Kharkiv Region, Kupiansk District, vicinity of village Kamianka, the slope of the right bank of the Oskil River, cretaceous outcrops, cyanobacterial biofilm on the moss curtain	Mikhailyuk et al., 2026
Gomontiellales				
Crinalium magnum F.E. Fritsch & R.P. John	693	Mikhailyuk T.I., 2013	Germany, Mecklenburg-Vorpommern, Heiligendamm, coast of the Baltic Sea, sand dunes, soil biocrust	Mikhailyuk et al., 2019b
CHLOROPHYTA				
CHLOROPHYCEAE				
Sphaeropleales				
Tetradesmus arenicola Mihkailyuk & P.M. Tsarenko	522	Mikhailyuk T.I., 2013	Ukraine, Odesa Region, Izmail District, Danube Biosphere Reserve, coast of the Black Sea, sand dunes, soil biocrust	Mikhailyuk et al., 2019a
TREBOUXIOPHYCEAE				
Trebouxiales				
Neochloris fusispora Arce & H.C. Bold (= *Ettlia fusispora* (Arce & H.C. Bold) H. Ettl & G. Gärtner)	490	Bold H.C., Arce G., 1958	Cuba, Villa Clara Province, Ranchuelo, field of sugar cane, soil	Arce, Bold, 1958
TREBOUXIOPHYCEAE ordo incertae sedis				
Leptochlorella arboricola Mikhailyuk	812	Mikhailyuk T.I., 2012	Ukraine, Kyiv, Holosiiv National Nature Park, Holosiiv Forest, algal biofilm growing on the bark of *Pinus sylvestris*	Mikhailyuk et al., 2025

Table 3 (continued)

Species	IBASU-A strain number	Isolated by	Locality	References
Xerochlorella dichotoma (H.P. Ling & Seppelt) Mikhailyuk & P.M. Tsarenko	764	Mikhailyuk T.I., 2013	Germany, Mecklenburg-Vorpommern, Heiligendamm, coast of the Baltic Sea, sand dunes, soil biocrust	Mikhailyuk et al., 2020
CHAROPHYTA				
KLEBSORMIDIOPHYCEAE				
Klebsormidiales				
Interfilum massjukiae Mikhailyuk & al.	767	Demchenko E.M., 2005	Ukraine, Crimea, Karadag Nature Reserve, Mountain range "Karagach", surface of pyroclastic outcrops	Mikhailyuk et al., 2008
Klebsormidium africanum Mikhailyuk	771	Dojani S., 2005	Republic of South Africa, Grootderm, Karoo Namib, Succulent Karoo, semi-desert, soil biocrust	Samolov et al., 2019
K. chilense Mikhailyuk & Samolov	949	Samolov E., 2017	Chile, La Campana National Park, deciduous Mediterranean vegetation, soil biocrust	Samolov et al., 2019
K. delicatum Mikhailyuk & Lukešová	772	Lukešová A., 1997	Czech Republic, Slavkovský Forest, peat bog Krásno, soil	Samolov et al., 2019
K. delicatum var. *deserticum* Mikhailyuk & Samolov	774	Samolov E., 2017	Chile, Santa Gracia Nature Reserve, semi-arid shrubland vegetation, soil biocrust	Samolov et al., 2019
K. karooense Mikhailyuk	776	Dojani S., 2005	Republic of South Africa, Grootderm, Karoo Namib, Succulent Karoo, semi-desert, soil biocrust	Samolov et al., 2019
K. sylvaticum Mikhailyuk & Samolov	778	Samolov E., 2017	Chile, Nahuelbuta National Park, Araucaria temperate forest, soil biocrust	Samolov et al., 2019
K. vermiculatum Mikhailyuk	779	Dojani S., 2005	Republic of South Africa, Roscherpan Nature Reserve, Fynbos, soil biocrust along dripping zone of shrubs	Samolov et al., 2019
Hormidiellales				
Hormidiella parvula M.O.P. Iyengar & Kanth. emend. Mikhailyuk & Lukešová	815	Lukešová A., 2008	USA, Wyoming, Belle Ayr Mine near Gillette, natural prairie, soil	Mikhailyuk et al., 2018a
Streptosarcina arenaria Mikhailyuk & Lukešová	475	Lukešová A., 1993	Slovakia, Bratislava Region, Malacky District, Lozorno Village, burnt forest, sandy soil with ash	Mikhailyuk et al., 2018a
CHAROPHYTA, class *incertae sedis*				
Streptofilum arcticum Mikhailyuk, Glaser, Holzinger & U. Karst.	781	Mikhailyuk T.I., 2019	Svalbard (Norway), vicinities of the Ny-Alesund Research Station, Ossian-Sarsfjellet, tundra top soil, soil biocrust	Glaser et al., 2025
S. capillatum Mikhailyuk & Lukešová	521	Lukešová A., 2002	Czech Republic, near Kamenice nad Lipou, Benešov, arable field, sandy soil	Mikhailyuk et al., 2018a

consorts have been isolated from 45 xenic cultures of algae belonging to the green algal genera *Chlorella*, *Desmodesmus*, *Klebsormidium*, *Messastrum* T.S. Garcia, *Monoraphidium*, *Oocystis*, *Raphidocelis*, *Tetradesmus* genera (Borysova et al., 2016, 2020; Borysova, 2022, see Table 4).

Maintaining the collection has faced significant challenges in recent years. During 2020–2021, the COVID-19 pandemic led to strict lockdowns, including stay-at-home orders and disruptions to public transportation. Consequently, essential maintenance tasks — such as preparing fresh media

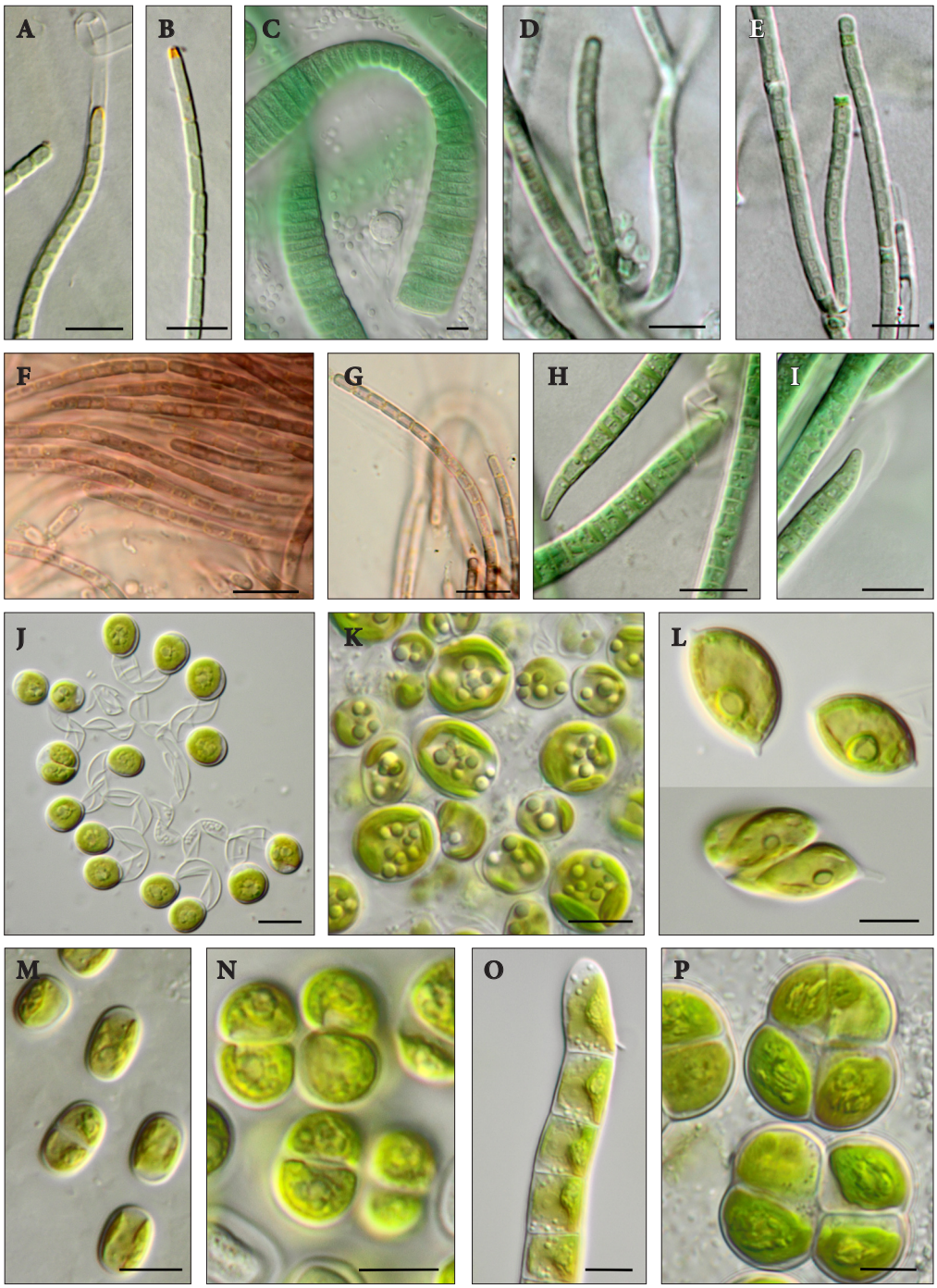


Fig. 4. Some authentic strains of cyanobacteria and green algae (*Chlorophyta* and *Charophyta*) of the collection. A–I: Filamentous *Cyanobacteria*. A: IBASU-A-762 *Oculatella ucrainica*; B: IBASU-A-853 *O. kazantipica*; C: IBASU-A-693 *Crinalium magnum*; D: IBASU-A-751 *Timaviella edaphica*; E: IBASU-A-754 *T. dunensis*; F, G: IBASU-A-750 *Carminoleptolyngbya arenaria*; H, I: IBASU-A-845 *Kondratevia charkoviensis*. J–L: *Chlorophyta*. J: IBASU-A-764 *Xerochlorella dichotoma*; K: IBASU-A-812 *Leptochlorella arboricola*; L: IBASU-A-522 *Tetradesmus arenicola*; M–P: *Charophyta*. M: IBASU-A-521 *Streptofilum capillatum*; N: IBASU-A-781 *Streptofilum arcticum*; O: IBASU-A-815 *Hormidiella parvula*; P: IBASU-A-475 *Streptosarcina arenaria*. Scale bars: 10 μm

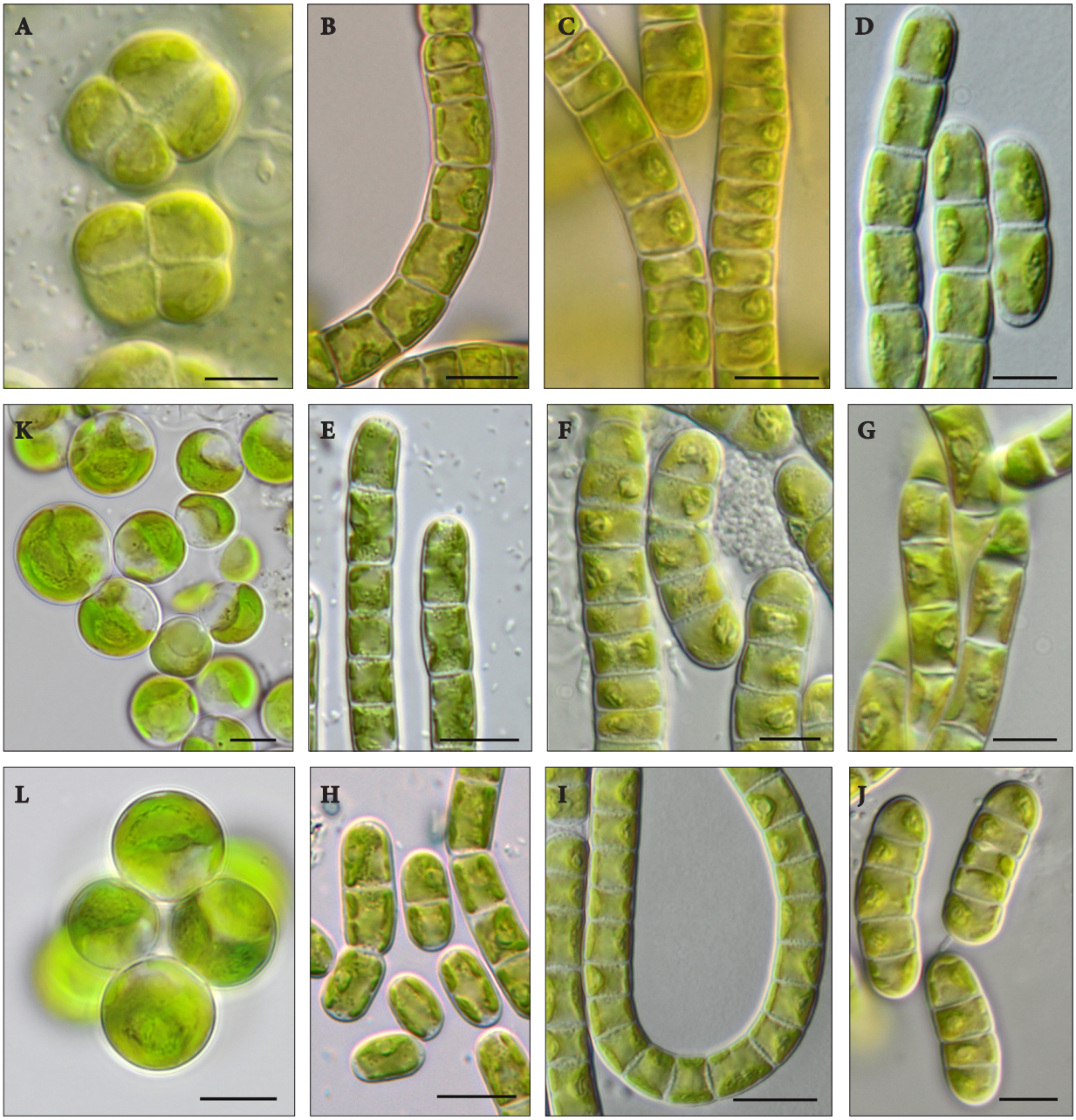


Fig. 5. Some authentic strains of green algae (*Charophyta* and *Chlorophyta*) of the collection. A–J: *Charophyta*. A: IBASU-A-767 *Interfilum massjukiae*; B: IBASU-A-776 *Klebsormidium karooense*; C: IBASU-A-771 *K. africanum*; D, G: IBASU-A-950 *K. chilense*; E, H: IBASU-A-772 *K. delicatum*; F: IBASU-A-774 *K. delicatum* var. *deserticum*; I: IBASU-A-778 *K. sylvaticum*; J: IBASU-A-779 *K. vermiculatum*. K, L: *Chlorophyta*. K, L: IBASU-A-490 *Neochloris fusispora*. Scale bars: 10 μm

and timely subculturing — were delayed, negatively affecting the viability of certain strains. Since the full-scale invasion by Russia began in February 2022, the collection's staff has faced unprecedented challenges. In spring 2022, access to the Institute was severely restricted by disrupted public transportation and frequent air raid alerts. In October 2022, missile explosions damaged numerous windows and some other external structures of the Institute (see Mosyakin, Shiyan, 2022); fortunately,

Table 4. **Strains of bacterial consorts in IBASU-A collection**

Taxon or bacterial groups by phenotypic characteristics	Number of strains	Isolated from cultures of algae (genus/species)	Taxonomy
Acinetobacter sp.	10	*Comasiella arcuata* (Lemmerm.) E. Hegewald var. *platydisca* (G.M. Sm.) E. Hegewald & M. Wolf, *Tetradesmus dimorphus* (Turpin) M.J. Wynne	*Pseudomonadales*, *Moraxellaceae*
Curtobacterium sp.	30	*Desmodesmus* spp., *Enallax costatus* (Schmidle) Pascher, *Scenedesmus* spp., *Tetradesmus* spp.	*Actinomycetales*, *Microbacteriaceae*
Flavobacterium sp.	13	*Chlorella vulgaris* Beij., *Tetradesmus dimorphus* (Turpin) M.J. Wynne	*Flavobacteriales*, *Flavobacteriaceae*
Microbacterium imperiale (Steinhaus) Collins et al.	5	*Tetradesmus dimorphus* (Turpin) M.J. Wynne	*Actinomycetales*, *Microbacteriaceae*
Micrococcus sp.	12	*Dunaliella* spp.	*Actinomycetales*, *Micrococcaceae*
Pseudomonas aeruginosa (Schroeter) Migula	3	*Klebsormidium flaccidum* (Kütz.) P.C. Silva, Mattox & W.H. Blackw.	*Pseudomonadales*, *Pseudomonadaceae*
Pseudomonas chlororaphis subsp. *aureofaciens* (Kluyver) Peix et al. (= *Pseudomonas aureofaciens* Kluyver)	8	*Coelastrum rugosum* (Rich) P.M. Tsarenko	*Pseudomonadales*, *Pseudomonadaceae*
Pseudomonas mendocina Palleroni	12	*Dunaliella* spp.	*Pseudomonadales*, *Pseudomonadaceae*
Pseudomonas sp.	25	*Dunaliella* spp., *Chlorella vulgaris* Beij., *Coelastrum rugosum* (Rich) P.M. Tsarenko, *Klebsormidium* spp.	*Pseudomonadales*, *Pseudomonadaceae*
Rhodococcus erythropolis (Gray & Thornton) Goodfellow & Alderson	40	*Chlorella vulgaris* Beij., *Desmodesmus* spp., *Klebsormidium* spp., *Scenedesmus* spp., *Tetradesmus* spp.	*Mycobacteriales*, *Mycobacteriaceae*
Rhodococcus fascians (Tilford) Goodfellow	30	*Chlorella vulgaris* Beij., *Desmodesmus* spp., *Scenedesmus* spp., *Tetradesmus* spp.	*Mycobacteriales*, *Mycobacteriaceae*
Unidentified Gram (+) colorless bacteria	13	*Messastrum gracile* (Reinsch) T.S. Garcia, *Monoraphidium* spp., *Raphidocelis* spp.	–
Unidentified Gram (+) pigmented bacteria (yellow, orange, red, pink colonies)	49	*Messastrum gracile* (Reinsch) T.S. Garcia, *Monoraphidium* spp., *Raphidocelis* spp.	–
Unidentified Gram (–) colorless bacteria	10	*Messastrum gracile* (Reinsch) T.S. Garcia, *Monoraphidium* spp., *Oocystis* spp., *Raphidocelis* spp.	–
Unidentified Gram (–) pigmented bacteria (yellow, orange, red colonies)	10	*Messastrum gracile* (Reinsch) T.S. Garcia, *Monoraphidium* spp., *Raphidocelis* spp.	–
Total:	**270**		

the algal collection has not been affected. Subsequently, repeated attacks on Ukraine's energy infrastructure led to frequent power outages (see UN Human Rights Monitoring Mission in Ukraine, 2024). These conditions were particularly severe in summer 2024, making it impossible to maintain stable light and temperature conditions or to operate laboratory equipment with long cycles, such as autoclaves. Similar difficulties persisted through the winter of 2025–2026, when unpredictable blackouts combined with severe frosts caused indoor temperatures in the storage rooms to drop below 13 °C. However, through the tireless dedication of the staff, significant losses to the collection were avoided. Despite the ongoing war, the IBASU-A holdings are regularly expanded with new isolates. However, the growth of the collection is constrained by limited personnel, storage equipment, and available laboratory space (Borysova et al., 2016). Consequently, a strategic optimization of the holdings is underway,

with strains that are both highly resource-intensive to maintain and of limited scientific value being gradually phased out, especially if they show poor resilience to suboptimal storage conditions.

The expansion and use of the collection are closely aligned with the research interests and scientific programs and projects of the Department of Phycology, Lichenology, and Bryology at the M.G. Kholodny Institute of Botany. Furthermore, IBASU-A serves as a resource for wider scientific collaboration. In recent years, strains have been provided to researchers from the D.K. Zabolotny Institute of Microbiology and Virology of the NAS of Ukraine, V.N. Karazin Kharkiv National University, Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, M.M. Gryshko National Botanical Garden of the NAS of Ukraine, among others. Beyond its research functions, the collection provides algal strains for educational purposes and science outreach. Additionally, the collection's facilities host guided tours for students to promote phycological knowledge. The collection is used for practical classes and for the preparing diploma theses by students of the Taras Shevchenko National University of Kyiv, National University of Kyiv-Mohyla Academy, National Technical University "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", among others.

An important step in the development of the IBASU-A collection was the EURIZON project, carried out in collaboration with colleagues from the Taras Shevchenko National University of Kyiv. Since May 2024 to April 2025, additional funding from the project enabled a revision of the culture collection, improvements in culture storage conditions, procurement of necessary materials and equipment, and development of a website for the collection. During the project, new connections were established with European partners, e.g., the Culture Collection at Göttingen University (SAG, Germany). These connections enabled IBASU-A employees to visit other algae culture collections to exchange experiences in the maintenance and investigation of algal strains.

Conclusions

Over its 65-year history, IBASU-A has evolved into an internationally recognized resource for cultured algae and cyanobacteria and became a unit of the National Heritage of Ukraine. The collection maintains over 500 strains, organized into specialized holdings of halophilic, freshwater, and terrestrial species, as well as biotechnologically significant strains, rare taxa, and ex-type and other nomenclaturally significant strains most important for taxonomic research. A unique feature of the collection is the inclusion of bacterial associates isolated from xenic algal cultures. Furthermore, the collection's primary strength lies in its indigenous isolates from diverse aquatic and terrestrial habitats across Ukraine. Despite current challenges, IBASU-A continues to develop. Future priorities include enhancing preservation methods for rare and endangered species and expanding the study of resource-valuable strains, such as producers of biomass, lipids, vitamins, and bioactive compounds, to ensure the sustainable conservation of autotrophic diversity.

Acknowledgements

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 Research and Innovation programme under Grant Agreement no. 871072.

ETHICS DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

O.V. Borysova https://orcid.org/0000-0002-0941-5099
O.V. Burova https://orcid.org/0000-0002-4300-8075
T.I. Mikhailyuk https://orcid.org/0000-0002-7769-2848
M.O. Konishchuk https://orcid.org/0000-0002-6334-5036
T. Friedl https://orcid.org/0000-0002-4070-776X

REFERENCES

Algae. Reference book. 1989. Ed. S.P. Wasser. Kyiv: Naukova Dumka, 608 pp. [*Водоросли. Справочник*. 1989. Ред. С.П. Вассер. Киев: Наукова думка, 608 с.]

Algae of Ukraine: Diversity, Nomenclature, Taxonomy, Ecology and Geography. 2011. Vol. 1. Eds P.M. Tsarenko, S.P. Wasser, E. Nevo. Ruggell: Gantner Verlag K.-G., 511 pp.

Andersen R.A., Kawachi M. 2005. Traditional microalgae isolation techniques. In: *Algal Culturing Techniques*. Ed. R.A. Andersen. Elsevier Academic Press, pp. 83–100.

Arce G., Bold H.C. 1958. Some *Chlorophyceae* from Cuban soil. *American Journal of Botany*, 45: 492–503.
Borisova E.V., Tsarenko P.M. 2003. Microalgae Culture Collection of Ukraine. *Algological Studies. Supplement Volumes*, 110: 143–150.
Borisova E.V., Tsarenko P.M. 2004. Microalgae Culture Collection of Ukraine (IBASU-A). *Nova Hedwigia*, 79(1–2): 127–134.
Borisova E.V., Nogina T.M., Stupina V.V. 2000. Bacteria accompanying *Scenedesmus acutus* Meyen in laboratory cultures. *International Journal on Algae*, 2(2): 113–121.
Borowitzka M.J., Siva C.J. 2007. The taxonomy of the genus *Dunaliella* (*Chlorophyta*, *Dunaliellales*) with emphasis on the marine and halophilic species. *Journal of Applied Phycology*, 19: 567–590. https://doi.org/10.1007/s10811-007-9171-x
Borysova O.V. 2022. Algal cultures as a model object of studding algal bacterial communities (consortia). *International Journal on Algae*, 24(3): 237–250. https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v24.i3.30
Borysova O.V., Tsarenko P.M. 2021. Some strains from microalgae collection IBASU-A (Ukraine) as an object of biotechnology. *Algologia*, 31(4): 390–405. [Борисова О.В., Царенко П.М. 2021. Штами колекції мікроводоростей IBASU-A — об'єкти біотехнології. *Альгологія*, 31(4): 390–405.] https://doi.org/10.15407/alg31.04.390
Borysova O.V., Tsarenko P.M., Konishchuk M.O. 2014. *Microalgae culture collection IBASU-A*. Kyiv, 110 pp. [Борисова О.В., Царенко П.М., Коніщук М.О. 2014. *Колекція культур мікроводоростей IBASU-A*. Київ, 110 с.]
Borysova O.V., Tsarenko P.M., Konishchuk M.O. 2016. Microalgae culture collection (IBASU-A) as an object of National Heritage of Ukraine. *Ukrainian Botanical Journal*, 73(5): 453–460. [Борисова О.В., Царенко П.М., Коніщук М.О. 2016. Колекція культур мікроводоростей (IBASU-A) як об'єкт національного надбання України. *Український ботанічний журнал*, 73(5): 453–460.] https://doi.org/10.15407/ukrbotj73.05.453
Borysova O.V., Tsarenko P.M., Konishchuk M.O. 2020. *Microalgae of culture collection of IBASU-A of M.G. Kholodny Institute of Botany NAS of Ukraine*. Kyiv: Nash Dim, 131 pp. [Борисова О.В., Царенко П.М., Коніщук М.О., Бурова О.В. 2020. *Мікроводорості колекції IBASU-A Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України*. Київ: Наш дім, 133 с.]
Borysova O., Burova O., Mikhailyuk T., Konishchuk M. 2024. Contribution of P.M. Tsarenko in the formation and effective use of the IBASU-A microalgae collection as an object of National Heritage of Ukraine. In: *Proceedings of the 15th Congress of the Ukrainian Botanical Society (30 September — 4 October, 2024, Ivano-Frankivsk, Ukraine)*. Odesa: Publishing House "Helvetica", p. 5. [Борисова О., Бурова О., Михайлюк Т., Коніщук М. 2024. Внесок П.М. Царенка у формування та ефективне використання фонду колекції мікроводоростей IBASU-A як об'єкта національного надбання України. У зб.: *Матеріали XV З'їзду Українського ботанічного товариства (30 вересня — 4 жовтня 2024, м. Івано-Франківськ, Україна)*. Одеса: Видавничий дім "Гельветика", с. 5.]
Glaser K., Mikhailyuk T., Permann C., Holtzinger A., Karsten U. 2025. New strains of the deep branching streptophyte *Streptofilum*: phylogenetic position, cell biological and ecophysiological traits, and description of *Streptofilum arcticum* sp. nov. *Environmental Microbiology*, 27(1): e70033. https://doi.org/10.1111/1462-2920.70033
Guiry M.D., Guiry G.M. 2026. *AlgaeBase*. World electronic publication. National University of Ireland. Galway. Available at: http://www.algaebase.org/ (Accessed 10 January 2025).
Junger V.P., Tereshchuk O.A. 1990. Museum of algae cultures of the department of spore plants of the M.G. Kholodny Institute of Botany, Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. *Ukrainian Botanical Journal*, 47(5): 64–69. [Юнгер В.П., Терещук О.А. 1990. Музей культур водоростей відділу спорових рослин Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного АН УРСР. *Український ботанічний журнал*, 47(5): 64–69.]
Kostikov I.Yu., Romanenko P.O., Demchenko E.M., Darienko T.M., Mikhailyuk T.I. Rybchinskiy O.V., Solonenko A.M. 2001. *The soil algae of Ukraine (history and methods of investigation, classification system, floristics)*. Kyiv: Phytosociocenter, 300 pp. [Костіков І.Ю., Романенко П.О., Демченко Е.М., Дарієнко Т.М., Михайлюк Т.І., Рибчинський О.В., Солоненко А.М. 2001. *Водорості ґрунтів України (історія та методи дослідження, система, конспект флори)*. Київ: Фітосоціоцентр, 300 с.]
Lenova L.I., Stupina V.V. 1990. *Algae in wastewater treatment*. Kyiv: Naukova Dumka, 184 pp. [Ленова Л.И., Ступина В.В. 1990. *Водоросли в доочистке сточных вод*. Киев: Наукова думка, 184 с.]
Lenova L.I., Stupina V.V., Stavskaya S.S., Tsarenko P.M. 1991. Selective resistance of algae to some components of wastewater. *Algologia*, 1(1): 69–74. [Ленова Л.И., Ступина В.В., Ставская С.С., Царенко П.М. 1991. Избирательная устойчивость водорослей к некоторым компонентам сточных вод. *Альгология*, 1(1): 69–74.]
Massjuk N.P. 1973. *Morphology, systematics, ecology, geographical distribution of the genus Dunaliella Teod. and prospects for its practical use*. Kyiv: Naukova Dumka, 244 pp. [Масюк Н.П. 1973. *Морфология, систематика, экология, географическое распространение рода Dunaliella Teod. и перспективы его практического использования*. Киев: Наукова думка, 244 с.]
Massjuk N.P., Lenova L.I., Stupina V.V., Radchenko M.I. 1984. *A strain of the unicellular green alga Pedinomonas tenuis* Massjuk No. 153 — *a biomass producer*. USSR Author's Certificate No. 1105160, priority dated 28.02.1983. Registered 01.04.1984. Bull. No. 28, USSR State Committee for Inventions and Discoveries. 30.07.1984, 10 p. [Масюк Н.П., Ленова Л.И., Ступина В.В., Радченко М.И. *Штамм одноклеточной зеленой водоросли Pedinomonas tenuis* Massjuk № 153 — *продуцент биомассы*. Авторское свидетельство № 1105160 (СССР) с приор. от 28.02.1983. Зарег. 01.04.1984. Бюлл. № 28 Гос. ком. СССР по делам изобр. и открыт., 30.07.1984, 10 с.]

Massjuk N.P., Posudin Yu.I., Lilitskaya G.G. 2007. *Photomovement of Dunaliella Teod cells. (Dunaliellales*, *Chlorophyceae*, *Viridiplantae)*. Kyiv: Akademperiodyka, 265 pp. [Масюк Н.П., Посудин Ю.И., Лилицкая Г.Г. 2007. *Фотодвижение клеток Dunaliella Teod. (Dunaliellales*, *Chlorophyceae*, *Viridiplantae)*. Киев: Академпериодика, 265 с.]

Mikhailyuk T.I., Kondratyuk S.Ya., Tsarenko P.M., Kostikov I.Yu. 2010. A valuable legacy for future generations (on the 80th anniversary of N.P. Masyuk). *Algologia*, 20(4): 518–521. [Михайлюк Т.И., Кондратюк С.Я., Царенко П.М., Костиков И.Ю. 2010. Ценное наследие для последующих поколений (к 80-летию со дня рождения Н. П. Масюк). *Альгология*, 20(4): 518–521.]

Mikhailyuk T.I., Sluiman H.J., Massalski A., Mudimu O., Demchenko E.M., Kondratyuk S.Y., Friedl T. 2008. New streptophyte green algae from terrestrial habitats and an assessment of the genus *Interfilum* (*Klebsormidiophyceae*, *Streptophyta*). *Journal of Phycology*, 44(6): 1586–1603. https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2008.00606.x

Mikhailyuk T., Lukešová A., Glaser K., Holzinger A., Obwegeser S., Nyporko S., Friedl T., Karsten U. 2018a. New taxa of streptophyte algae (*Streptophyta*) from terrestrial habitats revealed using an integrative approach. *Protist*, 169(3): 406–431. https://doi.org/10.1016/j.protis.2018.03.002

Mikhailyuk T.I., Vinogradova O.N., Glaser K., Demchenko E., Karsten U. 2018b. Diversity of terrestrial algae of Cape Kazantip (the Sea of Azov, Ukraine) and some remarks on their phylogeny and ecology. *International Journal on Algae*, 20(4): 313–338. https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v20.i4.10

Mikhailyuk T., Glaser K., Tsarenko P., Demchenko E., Karsten U. 2019a. Composition of biological soil crusts from sand dunes of the Baltic Sea coast, in the context of an integrative approach to the taxonomy of microalgae and cyanobacteria. *European Journal of Phycology*, 54(3): 263–290. https://doi.org/10.1080/09670262.2018.1557257

Mikhailyuk T., Vinogradova O., Holzinger A., Glaser K., Samolov E., Karsten U. 2019b. New record of the rare genus *Crinalium* Crow (*Oscillatoriales*, *Cyanobacteria*) from sand dunes of the Baltic Sea, Germany: epitypification and emendation of *Crinalium magnum* Fritsch et John based on an integrative approach. *Phytotaxa*, 400(3): 165–179. https://doi.org/10.11646/phytotaxa.400.3.4

Mikhailyuk T., Holzinger A., Tsarenko P., Glaser K., Demchenko E., Karsten U. 2020. *Dictyosphaerium*-like morphotype in terrestrial algae: what is *Xerochlorella* (*Trebouxiophyceae*, *Chlorophyta*)? *Journal of Phycology*, 56: 671–686. https://doi.org/10.1111/jpy.12974

Mikhailyuk T.I., Vinogradova O.M., Glaser K., Rybalka N.A., Demchenko E.M., Karsten U. 2021. Algae of biological soil crusts from sand dunes of the Danube Delta Biosphere Reserve (Odesa Region, Ukraine). *International Journal on Algae*, 23(1): 7–42. https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v23.i1.20

Mikhailyuk T., Vinogradova O., Holzinger A., Glaser K., Akimov Y., Karsten U. 2022. *Timaviella dunensis* sp. nov. from sand dunes of the Baltic Sea, Germany, and emendation of *Timaviella edaphica* (Elenkin) O.M. Vynogr. & Mikhailyuk (*Synechococcales*, *Cyanobacteria*) based on an integrative approach. *Phytotaxa*, 532(3): 192–208. https://doi.org/10.11646/phytotaxa.532.3.1

Mikhailyuk T.I., Vinogradova O.M., Demchenko E.M., Petlovana V.R., Glaser K., Karsten, U. 2025. Terrestrial algae of the Holosiiv National Nature Park (Kyiv, Ukraine). *Ukrainian Botanical Journal*, 82(1): 3–30. https://doi.org/10.15407/ukrbotj82.01.003

Mikhailyuk T., Vinogradova O., Glaser K., Akimov Yu., Gromakova A., Karsten U. 2026. *Carminoleptolyngbya* gen. nov. and *Kondratevia* gen. nov.: two new cyanobacterial genera from terrestrial habitats of Germany and Ukraine based on a polyphasic approach. *European Journal of Phycology*, 61(1): 99–115. https://doi.org/10.1080/09670262.2025.2592022

Mosyakin S.L., Shiyan N.M. 2022. The M.G. Kholodny Institute of Botany and the National Herbarium of Ukraine (KW), Kyiv: Damage due to the missile strikes on 10 October 2022. *Ukrainian Botanical Journal*, 79(5): 339–342. https://ukrbotj.co.ua/pdf/79/5/ukrbotj-2022-79-5-339.pdf

Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated Aug. 28, 2013, No. 650-r: *On the designation of scientific objects as national heritage*. [Розпорядження Кабінету Міністрів України від 28 серп. 2013 р. № 650-р: *Про віднесення наукових об'єктів до таких, що становлять національне надбання*.] Available at: https://www.kmu.gov.ua/npas/38641642 (Accessed 10 January 2025).

Samolov E., Mikhailyuk T., Lukešová A., Glaser K., Büdel B., Karsten U. 2019. Usual alga from unusual habitats: biodiversity of *Klebsormidium* (*Klebsormidiophyceae*, *Streptophyta*) from the phylogenetic superclade G isolated from biological soil crusts. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 133: 236–255. https://doi.org/10.1016/j.ympev.2018.12.018

Stupina V.V., Borisova E.V. 2002. The effect of nitrosodimethylamine on some chlorococcal algae in cultures. *International Journal on Algae*, 4(1): 70–75.

Tsarenko P.M., Hegewald E., Krienitz L. 1996. LM and SEM studies of *Scenedesmus* of Lake Tollense (Baltic Lake District, Germany). *Algological Studies*, 82: 13–36.

Tsarenko P.M., Borysova O.V., Blyum Ya.B. 2012. Microalgae of the IBASU-A collection are a resource for obtaining biodiesel. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 11: 172–178. [Царенко П.М., Борисова О.В., Блюм Я.Б. 2012. Мікроводорості колекції IBASU-A — ресурс для отримання біодизелю. *Доповіді НАН України*, 11: 172–178.]

Tsarenko P., Borysova O., Blume Ya. 2016. High biomass producers and promising candidates for biodiesel production from microalgae collection IBASU-A (Ukraine). *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 45: 79–85. https://doi.org/10.1515/ohs-2016-0008

Tsarenko P.M., Hegewald E., Braband A. 2005. *Scenedesmus*-like algae of Ukraine. 1. Diversity of taxa from water bodies in Volyn Polissia. *Archiv für Hydrobiologie. Supplement*, 160. *Algological Studies*, 118: 1–45.

Tsarenko P.M., Borysova O.V., Korkhovyi V.I., Blume Ya.B. 2020. High-efficiency Ukrainian strains of microalgae for biodiesel fuel production (Overview). *Open Agriculture Journal*, 14: 209–218. https://doi.org/10.2174/1874331502014010209

Tsarenko P.M., Stupina V.V., Mordvintseva G.M., Wasser S.P., Nevo E. 1997. *Chlorophyta: checklist of continental species from Israel*. Haifa; Kyiv: Peledfus Publ., 150 pp.

Tsarenko P.M., Vinogradova O.M., Burova O.V., Bryantseva Yu.V., Borysova O.V., Lilitska G.G., Raida O.V., Beresovska V.Yu., Kryvosheia-Zakharova O.M., Sadogurska S.S. 2024. *Prodromus of spore plants of Ukraine: algae*. Book 1. Ed. P.M. Tsarenko. Kyiv: Naukova Dumka, 879 pp. [Царенко П.М., Виноградова О.М., Бурова О.В., Брянцева Ю.В., Борисова О.В., Ліліцька Г.Г., Райда О.В., Березовська В.Ю., Кривошея-Захарова О.М., Садогурська С.С. 2024. *Продромус спорових рослин України: водорості*. Книга 1. Ред. П.М. Царенко. Київ: Наукова думка, 879 с.] https://doi.org/10.15407/978-966-00-1870-9

Turland N.J., Wiersema J.H., Barrie F.R., Gandhi K.N., Gravendyck J., Greuter W., Hawksworth D.L., Herendeen P.S., Klopper R.R., Knapp S., Kusber W.-H., Li D.-Z., May T.W., Monro A.M., Prado J., Price M.J., Smith G.F., Zamora Señoret J.C. 2025. *International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants* (*Madrid Code*). [Regnum Vegetabile, vol. 162]. Chicago: University of Chicago Press. https://doi.org/10.7208/chicago/9780226839479.001.0001 (Available online: https://www.iaptglobal.org/_functions/code/madrid).

UN Human Rights Monitoring Mission in Ukraine. 2024. *Attacks on Ukraine's energy infrastructure: Harm to the civilian population*. United Nations Human Rights Office of the High Commissioner. Available at: https://ukraine.ohchr.org/en/Attacks-on-Ukraines-Energy-Infrastructure-Harm-to-the-Civilian-Population (Accessed 10 April 2026).

Vinogradova O.N., Mikhailyuk T.I. 2018. On the taxonomy and nomenclature of some terrestrial taxa of *Plectonema* s. l. (*Cyanophyceae*). 1. The case of *Plectonema edaphicum*. *Algologia*, 28(3): 237–254. [Виноградова О.Н., Михайлюк Т.И. О таксономии и номенклатуре некоторых наземных представителей рода *Plectonema* s. l. (*Cyanophyceae*). 1. Казус *Plectonema edaphicum*. *Альгологія*, 28(3): 237–254.] https://doi.org/10.15407/alg28.03.237

Vinogradova O.N., Mikhailyuk T.I., Glaser K., Holzinger A., Karsten U. 2017. New species of *Oculatella* (*Synechococcales*, *Cyanobacteria*) from terrestrial habitats of Ukraine. *Ukrainian Botanical Journal*, 74(6): 509–520. https://doi.org/10.15407/ukrbotj74.06.509

Yunger V.P., Tereshchuk O.A. 1990. Museum of algal strains of the Department of Spore Plants at the M.G. Kholodny Institute of Botany, Ukr. SSR Academy of Sciences. *Ukrainian Botanical Journal*, 47(5): 64–69.

Колекція культур мікроводоростей Інституту ботаніки ім. М. Г. Холодного (IBASU-A): 65 років історії

О.В. БОРИСОВА [1], О.В. БУРОВА [1], Т.І. МИХАЙЛЮК [1], М.О. КОНІЩУК [1], Т. ФРІДЛ [2]

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

[2] Відділ експериментальної альгології та Колекція культур водоростей (SAG), Інститут рослинництва імені Альбрехта фон Галлера, університет Геттінгена, Геттінген, Німеччина

Реферат. Колекція культур мікроводоростей Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України (IBASU-A) створена в 1960-х роках. Сьогодні це одна з найбільших колекцій водоростей в Україні, яка з 2013 року визнана Національним надбанням України. Вона включає 500 штамів 186 прокаріотичних і еукаріотичних видів водоростей, що належать до 100 родів, 10 класів, представників *Cyanobacteria* (32), *Chlorophyta* (125), *Charophyta* (23), *Euglenophyta* (2), *Heterokontophyta* (6 видів). Основну частину колекції становлять зелені водорості (*Chlorophyta*) — провідна таксономічна група водоростевої флори України. Більшість штамів (403 штами) виділено з різних регіонів України. Фонди IBASU-A включають культури галофільних, прісноводних і наземних водоростей, колекції цінних для біотехнології штамів водоростей, а також рідкісних видів і автентичних штамів. Основною метою колекції культур IBASU-A є виділення, зберігання та постачання штамів водоростей для використання в дослідженнях і біотехнології. Штами видів IBASU-A родин *Chlorellaceae*, *Scenedesmaceae* та *Selenastraceae*, виділені з різних регіонів України та інших країн Європи, використовувалися в різних прикладних проєктах як тест-об'єкти для оцінки токсичності та канцерогенності синтетичних органічних речовин або біологічних агентів при взаємодії з різними видами промислових відходів. Ці самі штами, як активні виробники біомаси, були успішно використані в окремому проєкті для виробництва біопалива. Особливістю колекції IBASU-A є те, що поряд із культурами водоростей, зберігаються штами бактерій, що супроводжують мікроводорості в природі (бактеріальні консорти); загалом 270 штамів, які були виділені з 45 ксенічних культур зелених водоростей.

Ключові слова: IBASU-A, автентичні штами, бактеріальні консорти, біорізноманіття, біотехнологія, колекція, культури, мікроводорості, національне надбання, рідкісні види, ціанобактерії

BIOTECHNOLOGY, PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY
БІОТЕХНОЛОГІЯ, ФІЗІОЛОГІЯ, БІОХІМІЯ

https://doi.org/10.15407/ukrbotj83.02.120
RESEARCH ARTICLE

Screening of selected basidiomycetes for flumequine biotransformation

Alina O. KERNER [1*], Galeb A. AL-MAALI [1,2], Rodion A. KORZH [2]
[1] M.G. Kholodny Institute of Botany National Academy of Sciences of Ukraine, 2 Tereshchenkivska Str., Kyiv 01601, Ukraine
[2] Enamine Ltd., 78 Winston Churchill Str., Kyiv 02094, Ukraine
* Author for correspondence: *alina.kerner1@gmail.com*

Abstract. Fluoroquinolone antibiotics are among the most frequently detected xenobiotics in the environment. Flumequine, a representative of this class, often reaches ecosystems through livestock, where its presence and persistence may harm living organisms. Fungal biotransformation is a promising alternative way to degrade or transform such xenobiotics. Therefore, our research aimed to evaluate the ability of five fungal strains from the IBK Mushroom Culture Collection to biotransform flumequine and to compare their metabolite profiles. Fungal cultures were incubated with flumequine under submerged conditions, and the transformation products were identified by high-performance liquid chromatography with mass spectrometry (HPLC-MS). The research has shown that all studied strains are capable of transforming flumequine. Biodegradation rates ranged from 87 to 90% within three days. Hydroxyflumequine was identified as the major metabolite for all investigated strains. Additionally, three other flumequine derivatives were determined: *Bjerkandera adusta* 2144 formed ethyl ester of flumequine; *Coprinus comatus* 2325 and 1687 produced methyl ester of flumequine; and *Irpex lacteus* 2437 formed methyl esters of flumequine and hydroxyflumequine. This is the first report on the ability of the humicolous saprotroph *Coprinus comatus* to transform flumequine. The obtained results highlight species-specific features of the biotransformation process and reveal the prospects of basidiomycetes as promising agents for fluoroquinolone antibiotic biotransformation.

Keywords: basidiomycetes, biotransformation, chromatography, fluoroquinolone antibiotic, xenobiotic

Introduction

The intensive accumulation of xenobiotics in the environment has become a significant ecological challenge, stimulating scientists from all over the world to find alternative strategies for the removal of these chemicals. Xenobiotics are chemical substances that are foreign to biological systems (Štefanac et al., 2021). The particular problem of xenobiotics is that they do not occur naturally or contain structural parts that are rarely encountered in nature. As a result, living organisms were not exposed to these compounds during the evolution of catabolic pathways and therefore cannot use them as a source of energy (Rieger et al., 2002). However, fungi possess highly versatile enzymatic systems, which enable them to transform not just structurally complex natural compounds, but also xenobiotics into less toxic products (Dinakarkumar et al., 2024).

ARTICLE HISTORY. Submitted 11 March 2026. Revised 01 April 2026. Published 30 April 2026
CITATION. Kerner A.O., Al-Maali G.A., Korzh R.A. 2026. Screening of selected basidiomycetes for flumequine biotransformation. *Ukrainian Botanical Journal*, 83(2): 120–128. https://doi.org/10.15407/ukrbotj83.02.120
© M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine, 2026
© Publisher PH "Akademperiodyka" of the NAS of Ukraine, 2026
This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

White-rot fungi are powerful producers of non-specific intracellular and extracellular enzymes, which are responsible for the transformation of a large variety of natural and anthropogenic compounds (Rodríguez-Couto, 2017). Among these mushrooms, *Bjerkandera adusta* (Willd.) P. Karst. (*Basidiomycota*, *Polypolares*) is the subject of research as a promising agent for biotransformation and biodegradation. *Bjerkandera adusta* can degrade and transform a wide range of xenobiotics, such as pesticides (Dhiman et al., 2020), high-density polyethylene (HDPE) (Kang et al., 2019), and antibiotics of various classes (Korniłłowicz-Kowalska et al., 2006; Rybczyńska-Tkaczyk et al., 2021; Befenzi et al., 2025).

Another species, *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst. (*Basidiomycota*, *Polypolares*), is a well-known medicinal mushroom with diverse biological activities. Beyond its medicinal applications, the presence of lignocellulose-degrading enzymes makes this fungus a promising candidate for the degradation and transformation of complex compounds. Several studies have reported the ability of extracellular enzymes of *G. lucidum* to transform natural compounds, such as sweetener mogroside (Chiu et al., 2020) and saponin ginsenoside (Hsu et al., 2021). However, only a few works addressed the degradation of synthetic chemical compounds, including pesticides (Coelho-Moreira et al., 2018) and fluoroquinolone antibiotics (Chakraborty, Abraham, 2017).

The biotransformation potential of *Irpex lacteus* (Fr.) Fr. (*Basidiomycota*, *Polypolares*) has also been confirmed by many studies. This fungus is capable of degrading polycyclic aromatic hydrocarbons (Baborová et al., 2006), fluoroquinolones (Čvančarová et al., 2013; Akrout et al., 2024), and synthetic dyes (Novotný et al., 2004; Tavčar et al., 2006). Its high biodegradation efficiency is strongly connected with a powerful enzyme system, especially the production of extracellular oxidative enzymes (Sklenar et al., 2010).

In contrast to white-rot fungi, which are the most commonly studied group in biotransformation research, *Coprinus comatus* (O.F. Müll.) Pers. (*Basidiomycota*, *Agaricales*) belongs to a distinct ecological group — humicolous saprotrophs. This fungus is known for its ability to produce oxidative enzymes (Ma, Ruan, 2015; Paludo et al., 2025). Previous studies have reported the ability of this fungus to transform and degrade diverse natural compounds (Huang et al., 2019; Zhang et al., 2024) as well as synthetic chemicals (Suhara et al., 2011). However, its capacity to degrade or transform antibiotics, including fluoroquinolones, has not yet been reported.

Fluoroquinolone antibiotics are among the most frequently used antimicrobial agents in animal and fish farming, veterinary, and human medicine (Du et al., 2023). Due to their high environmental persistence and limited removal efficiency, this class of antibiotics is considered among the most problematic xenobiotic contaminants. Therefore, the aim of this study was to perform a comparative screening of five fungal strains of four species from the Mushroom Culture Collection (IBK) for their ability to biotransform flumequine, a representative of fluoroquinolones. Flumequine was applied as a model compound to reveal differences in biotransformation efficiency and metabolite profiles. The strains were selected based on their taxonomic diversity and reported oxidative enzyme systems associated with xenobiotic transformation.

Materials and Methods

Reagents. Acetonitrile (Chemsolute, Germany), Bacto agar (Saveen Werner, Sweden), Dimethyl sulfoxide (Sigma-Aldrich, USA) Ethyl acetate (Enamine Ukraine), Ethanol (Enamine, Ukraine), Flumequine (Enamine, Ukraine), Formic acid (Enamine, Ukraine), Glucose (Chimlaborreaktiv, Ukraine), Magnesium sulfate (heptahydrate) (Chimlaborreaktiv, Ukraine), Methanol (Enamine, Ukraine), Peptone (VWR International, Belgium), Potassium dihydrogen phosphate (Chimlaborreaktiv, Ukraine), Potassium hydrogen phosphate (Chimlaborreaktiv, Ukraine), Yeast extract (Conda, Spain).

Fungal cultures. The strains (GenBank accession number in brackets) *Irpex lacteus* 2437 (PQ740468), *Coprinus comatus* 1687 (PQ740475), *Coprinus comatus* 2325 (PQ740476), *Ganoderma lucidum* 1900 and *Bjerkandera adusta* 2144 (PQ740472) were obtained from the Mushroom Culture Collection (IBK) of the M.G. Kholodny Institute of Botany of the National Academy of Sciences of Ukraine (Bisko et al., 2024). Stock cultures of mushrooms were maintained on beer-wort agar slants at 4 °C.

Inoculum preparation and cultivation conditions. The glucose-peptone-yeast medium (GPY) was composed of (g/L): glucose — 25; peptone — 3; yeast extract — 3; KH_2PO_4 — 1; K_2HPO_4 — 1;

$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ — 0.25. The fungal mycelia were first grown on Petri dishes with GPYA medium, which additionally contained 20 g/L of agar-agar.

For inoculation, each of the 5 fungal strains was grown on one GPYA Petri dish at 26 ± 1 °C until full mycelial coverage was achieved. The mycelium from one Petri dish was suspended in approximately 200 mL of sterile water and homogenized to use as an inoculum. For each 250 ml Erlenmeyer flask, 5 ml of inoculum was added to 45 ml of GPY medium (10% v/v), giving a final working volume of 50 mL. All studied cultures were grown on a rotary shaker at 26 ± 1°C and 120 rpm in darkness.

Biotransformation experiments. For each fungal strain, the dynamics of biomass accumulation were determined in preliminary experiments. Based on these results, flumequine was added to the medium during the second-third of the exponential growth phase of each strain. Flumequine was dissolved in dimethyl sulfoxide (DMSO) and added to each flask (the final concentration of flumequine was 200 mg/L, and the final concentration of DMSO did not exceed 0.5%). After that, the cultures were returned to the rotary shaker for further cultivation for the next 3 days (Bondaruk et al., 2025). To avoid abiotic degradation of flumequine, all cultivation and extraction were performed in the dark to prevent photodegradation of flumequine.

Extraction procedure. After cultivation, the pH of the culture media was adjusted to 4.0 based on the predicted log D value of flumequine and its metabolites. Culture broth and mycelia were separated by filtration. The mycelial biomass was extracted with ethyl acetate at a 1 : 5 (m/v) ratio, while the culture broth was extracted with ethyl acetate at a 1 : 1 (v/v) ratio. The organic phase was collected, and the extraction was repeated three times for both the biomass and the culture liquid. The combined extracts were concentrated using a vacuum rotary evaporator. The residues were dissolved in 3 mL mixture of methanol, ethanol, and ethyl acetate (1 : 1: 4 v/v). Extraction of the abiotic controls was performed the same way.

Identification of transformed products. To analyze the composition of extracts obtained from each of the five fungal strains, analytical high-performance liquid chromatography (HPLC) was performed using an Agilent Technologies 1200 Series (Agilent, USA) with a C18 column (100 × 4.6 mm; particle size 2.7 μm). The flow rate was 1 ml/min, and the total run time was 10 min. Eluent A consisted of 0.1% formic acid in water and eluent B consisted of 0.1% formic acid in acetonitrile. Eluents were applied in the following gradient program (% v/v): (I) 0–2 min (A : B, (v/v = 95/5), (II) 2–6 min (A : B, from 95/5 to 0/100), (III) 6–8 min (B, 100), (IV) 8.0–8.5 min (A : B, from 0/100 to 95/5), (V) 8.5–10 min (A : B, (v/v = 95/5). A UV detector and a Quadrupole LC/MS 6120 mass analyzer (Agilent, USA) were used to identify the obtained compounds. UV detection was recorded at 215 nm and 254 nm. The results were obtained and analyzed using Open Lab CDS software (version C.01.10). The analysis was carried out using flumequine and hydroxyflumequine as standards.

Percentage of degraded flumequine was calculated by formula:

$$\text{Degradation (\%)} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%,$$

expressed as percents, where C_0 — initial concentration of flumequine; C_t — residual concentration of flumequine.

Results and Discussion

After 3 days of cultivation, all examined fungal strains efficiently transformed flumequine. The biodegradation rate remained high for all strains and ranged from 87 to 90% within three days. However, HPLC–MS analysis revealed notable differences in the qualitative composition of the metabolites formed by individual strains (Fig. 1), suggesting different biotransformation profiles despite similar overall removal efficiency.

In our study, among the examined species, *G. lucidum* 1900 was the only one that formed hydroxyflumequine (Fig. 1, F1) and no other derivatives, but exhibited the highest biodegradation rate of flumequine (90.1%). *Irpex lacteus* 2437 formed hydroxyflumequine, as well as two additional derivatives, including methyl ester of hydroxyflumequine (m/z 292.4; Fig. 1, F2), and methyl ester of flumequine (m/z 276.4; Fig. 1, F3). *Bjerkandera adusta* 2144 was the only culture that converted flumequine into its ethyl ester (m/z 290; Fig. 1, F4), as shown in Supplementary Material (S1, 1). These results demonstrate species-specific differences in metabolites. The qualitative differences are illustrated by the HPLC chromatograms of *I. lacteus* 2437 and *G. lucidum* 1900 (Fig. 2A and 2B, respectively).

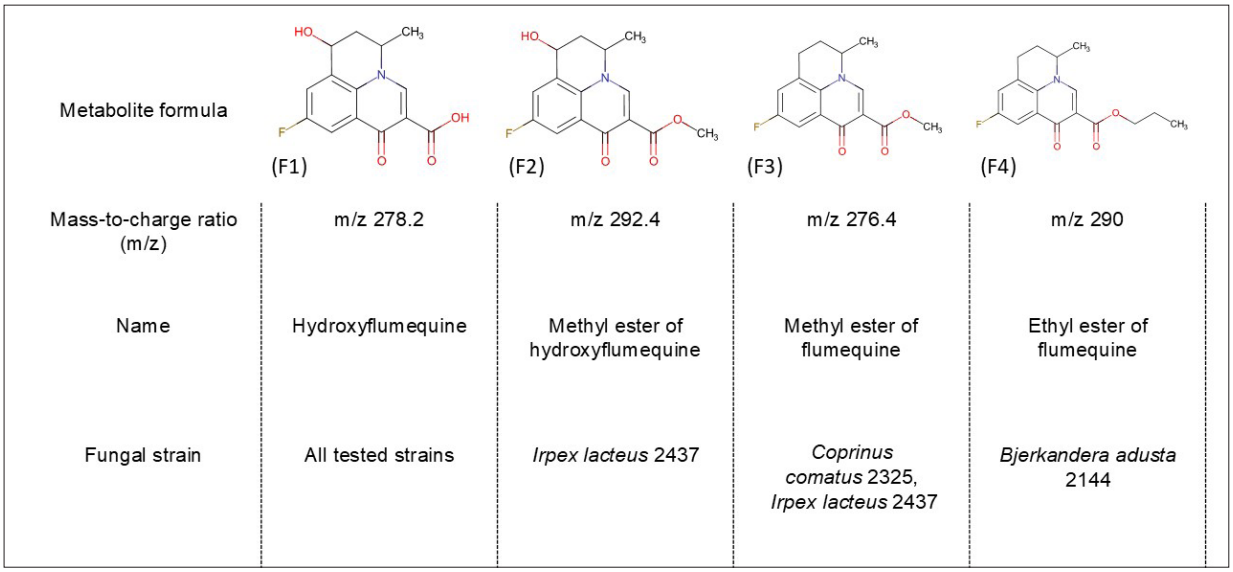


Fig. 1. Putative structures of flumequine biotransformation products detected in the tested fungal strains

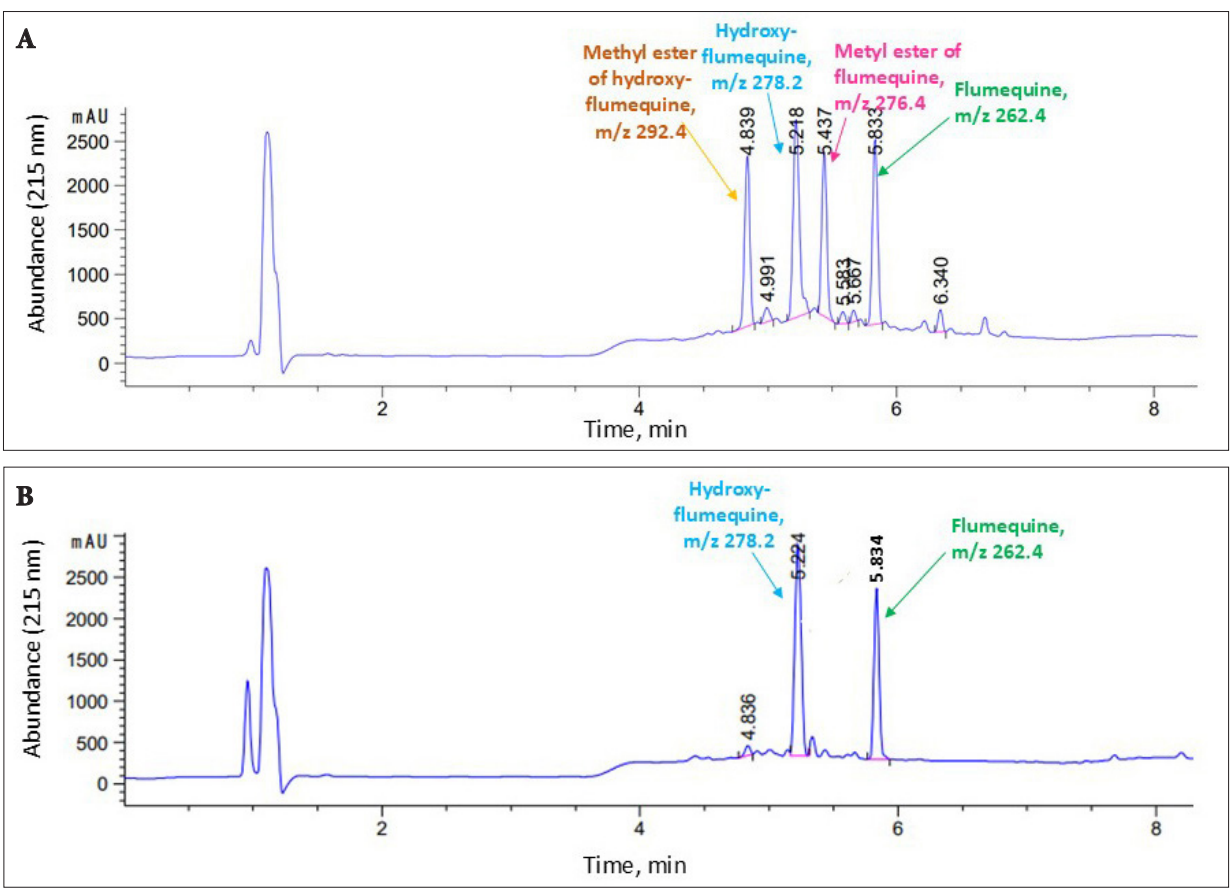


Fig. 2. Chromatograms (HPLCs, sig = 215 nm) of biotransformation products of flumequine formed during 3 days of submerged cultivation of the mycelium with added flumequine. A: *Irpex lacteus* 2437; B: *Ganoderma lucidum* 1900

In the current research, strain-specific differences were detected within the strains of *Coprinus comatus*. The strain *C. comatus* 1687 formed hydroxyflumequine, and methyl ester of flumequine (see Supplementary Material S1, 2). Meanwhile, *C. comatus* 2325 produced hydroxyflumequine, methyl ester of flumequine, and two unidentified metabolites that are likely derivatives of flumequine, although this could not be confirmed based on available literature (see Supplementary Material S1, 3). The profile of fungal metabolites differed between the strains as well. The strain *C. comatus* 1687 produced only one metabolite, while strain *C. comatus* 2325 formed at least four metabolites. These metabolites were also detected in control samples from flumequine-free cultures, indicating their fungal origin rather than their formation as products of flumequine transformation. Despite these differences, the biodegradation rates of flumequine were comparable for both strains (87.9% for *C. comatus* 2325 and 87.8% for *C. comatus* 1687). It is important to emphasize that the ability of *C. comatus* to transform any antibiotics of the fluroquinolone class has not yet been reported.

Consequently, in the current study, the only metabolite detected in all five investigated fungal strains was hydroxyflumequine, indicating a common biotransformation pathway of flumequine under the applied cultivation conditions. This transformation pathway is well known in mammalian metabolism, where flumequine undergoes phase I hydroxylation to form hydroxyflumequine, followed by phase II conjugation to acyl glucuronides (Mevius et al., 1990; Vree et al., 1992; Guyonnet et al., 1996).

In contrast to mammalian systems, no conjugated metabolites such as flumequine acyl glucuronides have been reported for basidiomycete fungi. Likewise, such metabolites were not detected in the present study. Consistent with previously reported studies on fungal metabolism, hydroxyflumequine was identified as the major and, in some cases, the sole biotransformation product. Thus, results in the present study align with findings for some fungal species, including *Cunninghamella elegans* (Williams et al., 2007), as well as white rot fungi *I. lacteus*, *Panus tigrinus*, *Dichomitus squalens*, *Trametes versicolor*, and *Pleurotus ostreatus*, where hydroxyflumequine was also detected as the primary metabolite (Čvančarová et al., 2013). Hydroxyflumequine shows substantially lower antimicrobial activity as compared to flumequine, retaining only about one-eighth of the activity of racemic flumequine (Harrison et al., 1984). This indicates that hydroxylation may represent a detoxifying transformation rather than the formation of an equally active antibacterial product.

The formation of methylated derivatives of flumequine was observed in several of the investigated strains. The methyl ester of flumequine, detected in cultures of *I. lacteus* 2437 and *C. comatus* 2325 and 1687, is most likely the result of esterification of the carboxylic group, a transformation previously described as a potential self-protection or detoxification mechanism in fungi (Čvančarová et al., 2013). In fungi and plants, phase II biotransformation of xenobiotics often involves modification of functional groups aimed at reducing toxicity (Čvančarová et al., 2013; Valdés et al., 2025). For certain filamentous fungi, such as *Cunninghamella* sp., conjugation with sugars or amino acids is a typical part of second phase of biotransformation (Zhang et al., 1996; Pietrzak et al., 2025).

A similar mechanism may explain the formation of the methyl ester of hydroxyflumequine identified in *B. adusta* 2144, and *C. comatus* 1687 and 2325. Methylated flumequine derivatives were reported as biotransformation products of ligninolytic fungi and were attributed to methylation of the carboxylic acid moiety (Čvančarová et al., 2013). Comparable methylation reactions have also been described in vascular plants during the metabolism of pharmaceutical compounds, including fluoroquinolones and macrolides, where methylation is considered part of a broader detoxification strategy (e.g., ofloxacin and clarithromycin in lettuce) (Bártíková et al., 2015; Tadić et al., 2020). Taken together, these findings suggest that esterification represents a conserved, although not universal, adaptive response to xenobiotic stress, which appears to be strain-dependent in filamentous fungi.

Overall, literature data show that basidiomycete fungi of the species investigated in this study are capable to transform and degrade a wide range of xenobiotics, including antibiotics. In particular, *G. lucidum* mycelium was found to be capable of reducing antibiotic concentrations in contaminated water, in the experiments performed using mixtures of 19 antibiotics of different classes, including fluoroquinolone flumequine (Juarez et al., 2026). Despite unidentified transformation products, these studies clearly demonstrated the potential of *G. lucidum* for

bioremediation applications. The experiment with other fluoroquinolones confirmed the ability of *G. lucidum* to degrade norfloxacin, but not ciprofloxacin, highlighting the compound-specific nature of fungal biotransformation and the need for further investigation of fluoroquinolone transformation by this species (Chakraborty, Abraham, 2017).

The potential of *Irpex lacteus* and *Bjerkandera adusta* in fluoroquinolones biotransformation has been relatively better studied. Thus, our results are consistent with results reported by Čvančarová et al. (2013), where the strain *I. lacteus* 617/93 formed the same three metabolites during flumequine biotransformation. However, in that study, over 90% removal of flumequine required six days, whereas in our study, it took three days. It should be noted that the initial flumequine concentration applied in our research was substantially higher than that used by Čvančarová et al. (2013). In another study (Akrout et al., 2024), *I. lacteus* did not show potential to fluoroquinolone biotransformation, while *B. adusta* was able to degrade eight fluoroquinolones totally. Such differences may reflect variations in fluoroquinolone structure, fungal strain specificity, and cultivation conditions, emphasizing the importance of experimental context in evaluating fungal biotransformation capacity.

The genus *Coprinus* is well known as an efficient decomposer of complex organic compounds, particularly lignocellulosic substrates (Su et al., 2023; Lv et al., 2025), as well as structurally complex natural products such as ginkgolides (Ding et al., 2015; Zhang et al., 2024). In addition, other studies have demonstrated the capacity of *Coprinus* enzymatic systems to transform or degrade persistent synthetic compounds, such as dibenzo-p-dioxins, including halogenated ones (Suhara et al., 2011), heavy metals (Falandysz, 2016), and pesticides (Wang et al., 2018). However, the ability of *Coprinus* species to transform antibiotics remains unexplored. This is a significant gap, considering that *C. comatus* is a humicolous saprotroph. This group of fungi consumes organic matter in soil, where fluoroquinolones are known to exhibit strong sorption and long-term persistence (Parente et al., 2019). This makes *C. comatus* a highly relevant model for investigating the ecological impact of these antibiotics. Consequently, the present study expands the current knowledge on the metabolic capabilities of *C. comatus*, demonstrating for the first time its ability to transform fluoroquinolones.

Conclusion

Summarizing these findings, all investigated strains efficiently removed flumequine within three days of cultivation. However, there were observed difference in the qualitative profiles of biotransformation products. Hydroxyflumequine was identified as the common and dominant metabolite in all cultures, while additional esterified derivatives were formed in a species-dependent manner. The results expand current knowledge on fungal fluoroquinolone metabolism and support the relevance of basidiomycetes as promising agents for antibiotic biotransformation.

Acknowledgements

The authors express their sincere gratitude to Svitlana V. Bondaruk for assistance with chromatographic analysis and to Tetiana I. Mikhailyuk for providing the opportunity to conduct molecular studies of some investigated strains. The authors are also deeply grateful to Prof. Nina A. Bisko for her support, valuable advice, and motivation during the preparation of this article. We also would like to thank to the anonymous reviewers for insightful recommendations, which helped improve the present article. Finally, we are sincerely grateful to the Armed Forces of Ukraine for protecting our country and providing us with the possibility to live and work.

SUPPLEMENTARY MATERIAL

This article includes Supplementary Material (S1) available as: ukrbotj83-02-120-S1.pdf (128 KB)

ETHICS DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

A.O. Kerner https://orcid.org/0000-0003-2810-906X
G.A. Al-Maali https://orcid.org/0000-0002-7489-6466
R.A. Korzh https://orcid.org/0009-0007-2021-0872

REFERENCES

Akrout I., Staita K., Zouari-Mechichi H., Ghariani B., Khmaissa M., Navarro D., Doan A., Albert Q., Faulds C., Sciara G., Record E., Mechichi T. 2024. Valorizing fungal diversity for the degradation of fluoroquinolones. *Heliyon*, 10(10): e30611. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30611

Baborová P., Möder M., Baldrian P., Cajthamlová K., Cajthaml T. 2006. Purification of a new manganese peroxidase of the white-rot fungus *Irpex lacteus*, and degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by the enzyme. *Research in Microbiology*, 157(3): 248–253. https://doi.org/10.1016/j.resmic.2005.09.001

Bártíková H., Skálová L., Stuchlíková L., Vokřál I., Vaněk T., Podlipná R. 2015. Xenobiotic-metabolizing enzymes in plants and their role in uptake and biotransformation of veterinary drugs in the environment. *Drug Metabolism Reviews*, 47(3): 374–387. https://doi.org/10.3109/03602532.2015.1076437

Befenzi H., Ezzariai A., Baghor J., Arrach H., Armengaud J., Kielbasa M., Doan A., Lambert J., Lomascolo A., Albert Q., Faulds C., Sciara G., Mechichi T., Kouisni L., Hafidi M., El Fels L., Record E. 2025. *Bjerkandera adusta* TM11 for the bioremediation of fluoroquinolone antibiotics spiked in wastewater: A sustainable approach to pharmaceutical contaminant biotransformation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 291: 117898. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.117898

Bisko N., Lomberg M., Mykchaylova O., Mytropolska N. 2024. IBK Mushroom Culture Collection. Version 1.8. The IBK Mushroom Culture Collection of the M.G. Kholodny Institute of Botany. In: *GBIF occurrence dataset*. Available at: https://ukraine.ipt.gbif.no/resource?r=ibk&v=1.8 (Accessed 11 March 2026).

Bondaruk S.V., Bulava S.O., Korzh R.A., Lesyk D.S., Polovynko V.V., Fedyk A.V., Al-Maali G.A. 2025. Biotransformation of 2, 6-dichloroaniline and 3, 5-dichloroaniline by the mycelium of basidiomycetes. *Ukrainian Botanical Journal*, 82(6): 594–603. https://doi.org/10.15407/ukrbotj82.06.594

Chakraborty P., Abraham J. 2017. Comparative study on degradation of norfloxacin and ciprofloxacin by *Ganoderma lucidum* JAPC1. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 34(4): 1122–1128. https://doi.org/10.1007/s11814-016-0345-6

Chiu C.H., Wang R., Zhuang S., Lin P.Y., Lo Y.C., Lu T.J. 2020. Biotransformation of mogrosides from *Siraitia grosvenorii* by *Ganoderma lucidum* mycelium and the purification of mogroside III E by macroporous resins. *Journal of Food and Drug Analysis*, 28(1): 74–83. https://doi.org/10.1016/j.jfda.2019.05.001

Coelho-Moreira J.D.S., Brugnari T., Sá-Nakanishi A.B., Castoldi R., De Souza C.G.M., Bracht A., Peralta R.M. 2018. Evaluation of diuron tolerance and biotransformation by the white-rot fungus *Ganoderma lucidum*. *Fungal Biology*, 122(6): 471–478. https://doi.org/10.1016/j.funbio.2017.10.008

Čvančarová M., Moeder M., Filipová A., Reemtsma T., Cajthaml T. 2013. Biotransformation of the antibiotic agent Flumequine by ligninolytic fungi and residual antibacterial activity of the transformation mixtures. *Environmental Science & Technology*, 47(24): 14128–14136. https://doi.org/10.1021/es403470s

Dhiman N., Jasrotia T., Sharma P., Negi S., Chaudhary S., Kumar R., Mahnashi M.H., Umar A., Kumar R. 2020. Immobilization interaction between xenobiotic and *Bjerkandera adusta* for the biodegradation of atrazine. *Chemosphere*, 257: 127060. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127060

Dinakarkumar Y., Ramakrishnan G., Gujjula K.R., Vasu V., Balamurugan P., Murali G. 2024. Fungal bioremediation: An overview of the mechanisms, applications and future perspectives. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 6: 293–302. https://doi.org/10.1016/j.enceco.2024.07.002

Ding H., Zhang Z., Cao S., Xu Y., Yu J. 2015. Transformation of multi-component ginkgolide into ginkgolide B by *Coprinus comatus*. *BMC Biotechnology*, 15(1): 17. https://doi.org/10.1186/s12896-015-0133-0

Du J., Liu Q., Pan Y., Xu S., Li H., Tang J. 2023. The research status, potential hazards and toxicological mechanisms of Fluoroquinolone antibiotics in the environment. *Antibiotics*, 12(6): 1058. https://doi.org/10.3390/antibiotics12061058

Falandysz J. 2016. Mercury bio-extraction by fungus *Coprinus comatus*: A possible bioindicator and mycoremediator of polluted soils? *Environmental Science and Pollution Research*, 23(8): 7444–7451. https://doi.org/10.1007/s11356-015-5971-8

Guyonnet J., Pacaud M., Richard M., Doisi A., Spavone F., Hellings Ph. 1996. Routine determination of flumequine in kidney tissue of pig using automated liquid chromatography. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*, 679(1–2): 177–184. https://doi.org/10.1016/0378-4347(95)00582-X

Harrison L.I., Schuppan D., Rohlfing S.R., Hansen A.R., Hansen C.S., Funk M.L., Collins S.H., Ober R.E. 1984. Determination of flumequine and a hydroxy metabolite in biological fluids by high-pressure liquid chromatographic, fluorometric, and microbiological methods. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 25(3): 301–305. https://doi.org/10.1128/AAC.25.3.301

Hsu B.Y., Chen C.H., Lu T.J., Pan M.H., Ho C.T., Hwang L.S., Hung W.L. 2021. Bioconversion of ginsenosides in American ginseng extraction residue by fermentation with *Ganoderma lucidum* improves insulin-like glucose uptake in 3T3-L1 adipocytes. *Fermentation*, 7(4): 297. https://doi.org/10.3390/fermentation7040297

Huang L., Sun N., Ban L., Wang Y., Yang H. 2019. Ability of different edible fungi to degrade crop straw. *AMB Express*, 9(1): 4. https://doi.org/10.1186/s13568-018-0731-z

Juarez V., Emami S., Taha A.Y., La Saponara V. 2026. Use of *Ganoderma lucidum* grown on agricultural waste to remove antibiotics from water. *RSC Advances*, 16(2): 1499–1508. https://doi.org/10.1039/D5RA06482A

Kang B.R., Kim S.B., Song H.A., Lee T.K. 2019. Accelerating the biodegradation of high-density polyethylene (HDPE) using *Bjerkandera adusta* TBB-03 and lignocellulose substrates. *Microorganisms*, 7(9): 304. https://doi.org/10.3390/microorganisms7090304

Korniłłowicz-Kowalska T., Wrzosek M., Ginalska G., Iglik H., Bancerz R. 2006. Identification and application of a new fungal strain *Bjerkandera adusta* R59 in decolorization of daunomycin wastes. *Enzyme and Microbial Technology*, 38(5): 583–590. https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2005.10.009

Lv X., Wang H., Wang W. 2025. *Agaricus sinodeliciosus* and *Coprinus comatus* improve soil fertility and microbial community structure. *Journal of Fungi*, 11(12): 866. https://doi.org/10.3390/jof11120866

Ma K., Ruan Z. 2015. Production of a lignocellulolytic enzyme system for simultaneous bio-delignification and saccharification of corn stover employing co-culture of fungi. *Bioresource Technology*, 175: 586–593. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.10.161

Mevius D.J., Breukink H.J., Guelen P.J.M., Jansen T., De Grève B. 1990. Pharmacokinetics, metabolism and renal clearance of flumequine in veal calves. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics*, 13(2): 159–169. https://doi.org/10.1111/j.1365-2885.1990.tb00764.x

Novotný Č., Svobodová K., Kasinath A., Erbanová P. 2004. Biodegradation of synthetic dyes by *Irpex lacteus* under various growth conditions. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 54(2–3): 215–223. https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2004.06.003

Paludo L.C., Peron-Schlosser B., Ramos R.M.B., Monteiro P.I., Gerhardt E.C.M., Chubatsu L.S., Spier M.R. 2025. A sustainable alternative for the food industry: production of α-amylase by *Coprinus comatus* using agro-industrial by-products. *Processes*, 13(6): 1815. https://doi.org/10.3390/pr13061815

Parente C.E.T., Brito E.M.S., Azeredo A., Meire R.O., Malm O. 2019. Fluoroquinolone antibiotics and their interactions in agricultural soils — a review. *Orbital: The Electronic Journal of Chemistry*, 11(1): 42–52. https://doi.org/10.17807/orbital.v11i1.1352

Pietrzak A., Dąbrówka B., Popiół J., Pękala E., Słoczyńska K. 2025. Phase II metabolism in xenobiotic biotransformation: General mechanisms and the underestimated role of microbial systems. *Drug Metabolism Reviews*, 58(1): 1–25. https://doi.org/10.1080/03602532.2025.2582864

Rieger P.G., Meier H.M., Gerle M., Vogt U., Groth T., Knackmuss H.J. 2002. Xenobiotics in the environment: Present and future strategies to obviate the problem of biological persistence. *Journal of Biotechnology*, 94(1): 101–123. https://doi.org/10.1016/S0168-1656(01)00422-9

Rodríguez-Couto S. 2017. Industrial and environmental applications of white-rot fungi. *Mycosphere*, 8(3): 456–466. https://doi.org/10.5943/mycosphere/8/3/7

Rybczyńska-Tkaczyk K., Korniłłowicz-Kowalska T., Szychowski K.A. 2021. Possibility to biotransform anthracyclines by peroxidases produced by *Bjerkandera adusta* CCBAS 930 with reduction of geno- and cytotoxicity and pro-oxidative activity. *Molecules*, 26(2): 462. https://doi.org/10.3390/molecules26020462

Sklenar J., Niku-Paavola M.L., Santos S., Man P., Kruus K., Novotny C. 2010. Isolation and characterization of novel pI 4.8 MnP isoenzyme from white-rot fungus *Irpex lacteus*. *Enzyme and Microbial Technology*, 46(7): 550–556. https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2010.03.001

Štefanac T., Grgas D., Landeka Dragičević T. 2021. Xenobiotics—division and methods of detection: A review. *Journal of Xenobiotics*, 11(4): 130–141. https://doi.org/10.3390/jox11040009

Su Y., Xiang Y., Wang S. 2023. Lignin degradation by *Coprinus comatus* in corn stalk. *Industrial Crops and Products*, 200: 116906. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116906

Suhara H., Kamei I., Maekawa N., Kondo R. 2011. Biotransformation of polychlorinated dibenzo-p-dioxin by *Coprinellus* species. *Mycoscience*, 52(1): 48–52. https://doi.org/10.1007/S10267-010-0062-7

Tadić D., Gramblicka M., Mistrik R., Flores C., Piña B., Bayona J.M. 2020. Elucidating biotransformation pathways of ofloxacin in lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Environmental Pollution*, 260: 114002. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114002

Tavčar M., Svobodová K., Kuplenk J., Novotný Č., Pavko A. 2006. Biodegradation of azo dye RO16 in different reactors by immobilized *Irpex lacteus*. *Acta Chimica Slovenica*, 53(3): 338–343.

Valdés M.E., Cortés F.L., Santos L.H., Jaén-Gil A., Rodríguez-Mozaz S., Wunderlin D.A., Monferrán M.V. 2025. Removal, bioaccumulation, and metabolization of the fluoroquinolone flumequine by *Potamogeton pusillus* L. *Journal of Hazardous Materials*, 496: 139310. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.139310

Vree T.B., van Ewijk-Beneken Kolmer E.W.J., Nouws J.F.M. 1992. Direct-gradient high-performance liquid chromatographic analysis and preliminary pharmacokinetics of flumequine and flumequine acyl glucuronide in humans: Effect of probenecid. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*, 579(1): 131–141. https://doi.org/10.1016/0378-4347(92)80371-V

Wang Y., Zhang B., Chen N., Wang C., Feng S., Xu H. 2018. Combined bioremediation of soil co-contaminated with cadmium and endosulfan by *Pleurotus eryngii* and *Coprinus comatus*. *Journal of Soils and Sediments*, 18(6): 2136–2147. https://doi.org/10.1007/s11368-017-1762-9

Williams A.J., Deck J., Freeman J.P., Chiarelli M.P., Adjei M.D., Heinze T.M., Sutherland J.B. 2007. Biotransformation of flumequine by the fungus *Cunninghamella elegans*. *Chemosphere*, 67(2): 240–243. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.10.016

Zhang D., Yang Y., Leakey J.E.A., Cerniglia C.E. 1996. Phase I and phase II enzymes produced by *Cunninghamella elegans* for the metabolism of xenobiotics. *FEMS Microbiology Letters*, 138(2–3): 221–226. https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1996.tb08161.x

Zhang Z., Wang F., Xu L. 2024. Study on the pilot-scale technology of Ginkgolide B synthesis by *Coprinus comatus*. *Fermentation*, 10(11): 579. https://doi.org/10.3390/fermentation10110579

Скринінг штамів деяких базидієвих грибів на здатність до біотрансформації флюмеквіну

А.О. КЕРНЕР [1], Г.А. АЛЬ-МААЛІ [1,2], Р.А. КОРЖ [2]

[1] Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України, вул. Терещенківська 2, Київ 01601, Україна

[2] ТОВ "Енамін", вул. Вінстона Черчилля 78, Київ 02094, Україна

Реферат. Антибіотики фторхінолонового класу належать до одних із найпоширеніших у навколишньому середовищі ксенобіотиків. Флюмеквін, представник цього класу, який використовують у тваринництві, здатний потрапляти до екосистем, де його присутність може завдавати шкоди живим організмам. Біотрансформація за участю культур грибів є альтернативним способом деградації та трансформації таких ксенобіотиків. Тому метою дослідження була оцінка здатності п'яти штамів чотирьох видів базидієвих грибів із Колекції культур шапинкових грибів (ІВК) біотрансформувати флюмеквін, а також порівняння отриманих метаболітів. Міцелій глибинної культури грибів культивували з флюмеквіном протягом трьох діб, після чого продукти біотрансформації ідентифікували методом високоефективної рідинної хроматографії з мас-спектрометрією (ВЕРХ-МС). Встановлено, що всі досліджені штами здатні трансформувати флюмеквін, причому рівень біодеградації становив 87–90%. Основним метаболітом, ідентифікованим для усіх досліджених штамів, є гідроксифлюмеквін. Крім того, визначено три додаткові метаболіти флюмеквіну: штам *Bjerkandera adusta* 2144 утворював етиловий естер флюмеквіну; *Coprinus comatus* 2325 та 1687 — метиловий естер флюмеквіну, а *Irpex lacteus* 2437 — метиловий естер флюмеквіну та гідроксифлюмеквіну. Це перше повідомлення про здатність *Coprinus comatus* трансформувати флюмеквін. Отримані результати свідчать про видові особливості біотрансформації антибіотика, а також розкривають можливості базидієвих грибів біотрансформувати фторхінолонові антибіотики.

Ключові слова: антибіотики, базидієві гриби, біотрансформація, ксенобіотик, флюмеквін, хроматографія

BIOTECHNOLOGY, PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY
БІОТЕХНОЛОГІЯ, ФІЗІОЛОГІЯ, БІОХІМІЯ

https://doi.org/10.15407/ukrbotj83.02.129
RESEARCH ARTICLE

Антоціанова пігментація тканин вегетативних органів *Lamium purpureum* (*Lamiaceae*)

Володимир С. ФЕДЕНКО
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара,
проспект Науки 72, Дніпро 49045, Україна
Адреса для листування: *opticlab.fedenko@gmail.com*

Реферат. Уперше досліджено пігментний склад тканин вегетативних органів *Lamium purpureum* із використанням комплексу спектральних методичних підходів (неруйнівна твердофазна спектрофотометрія, спектроскопія поглинання екстрактів, ідентифікація хелатувальної здатності пігментів). Встановлено, що специфічність пігментації найнижчих приквіткових листків, найвищих стеблових листків під основою суцвіття та частини стебла між ними пов'язана із локалізацією у поверхневих тканинах флавоноїдів, антоціанів, каротиноїдів та хлорофілів у різних співвідношеннях. Пурпурове забарвлення тканин обумовлено накопиченням антоціанів, які ідентифіковані за характерним максимумом у спектрах відбиття тканин і спектрах поглинання екстрактів, колориметричними параметрами, хелатувальною здатністю. Визначено параметри диференційних спектрів відбиття як маркерні ознаки специфічної локалізації антоціанів у різних тканинах рослин. Максимальне накопичення антоціанів відзначено у поверхневих тканинах приквіткових листків. Контраст у сприйнятті забарвлення встановлено шляхом розрахунку колірної відмінності між тканинами. Запропонований методичний підхід може бути використано для ідентифікації сировини *L. purpureum* при отриманні біологічно активних препаратів та неруйнівної діагностики пігментного складу рослин.

Ключові слова: *Lamium purpureum*, антоціани, відбивальні характеристики, захисний ефект, колориметрія

Вступ

Серед специфічних ознак рослин привертає увагу феномен пурпурової пігментації вегетативних органів у деяких видів (Davies et al., 2022). Одним із таких представників є *Lamium purpureum* L. (глуха кропива пурпурова, родина *Lamiaceae*) — поширений вид рослин у флорі України — ймовірний археофіт північносередземноморського походження, епекофіт за ступенем натуралізації (Protopopova, 1991; Dubyna et al., 2022; Baranovski et al., 2023). Специфічна особливість рослин цього виду особливо проявляється в пурпуровому забарвленні листків і стебла на початкових стадіях росту та під час цвітіння (Mashtaler et al., 2024). Слід зазначити, що вже перші сходи рослин навесні мають пурпурове забарвлення, згодом з'являються перші квітки на фоні

ARTICLE HISTORY. Submitted 16 July 2025. Revised 13 March 2026. Published 30 April 2026

CITATION. Fedenko V.S. 2026. Anthocyanin pigmentation of tissues of vegetative organs of *Lamium purpureum* (*Lamiaceae*). *Ukrainian Botanical Journal*, 83(2): 129–141. [In Ukrainian]. https://doi.org/10.15407/ukrbotj83.02.129

© M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine, 2026
© Publisher PH "Akademperiodyka" of the NAS of Ukraine, 2026
This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

пурпурових приквіткових листків, а з часом при підвищенні температури середовища ці листки стають зеленими. Для *L. purpureum* характерний ранній та тривалий період цвітіння (з квітня по жовтень) (Blinkova, 2018). Така особливість призводить до раннього завершення життєвого циклу: від проростання насіння до плодоношення минає лише кілька тижнів. Продукування відносно великої кількості насіння, яке зберігає життєздатність у зимовий період у ґрунті, розглядають як один з факторів інтенсивного поширення цього виду поза межами його природного ареалу (DeFelice, 2005). Саме навесні для *L. purpureum* встановлено помітне значення проєктивного покриття виду, а також відносно високий показник трапляння та фітоценотичної активності, наприклад, серед адвентивної фракції рослин паркової зони (Lisovets, Udzhmadzhuridze, 2022). Для рослин цього виду як сціогеліофіту характерна пластичність до світлового режиму (Barišić et al., 2006), а також стійкість до низьких температур (Creech et al., 2007). Згідно з запропонованою фітоіндикаційною шкалою за типом Елленберга для *L. purpureum* встановлено високе значення показника світлового фактора 7,2 (Tichý et al., 2023). У разі антропогенної трансформації середовища спостерігалось формування процвітаючого типу популяції *L. purpureum* із максимальною варіабельністю морфометричних параметрів, у тому числі кількості квіток і листків у особини (Blinkova, 2018). Стійкість до екстремальних і несприятливих умов середовища обумовила наявність цього виду у складі адвентивної фракції регіональних флор України (Blinkova, 2018; Pavlyshak, Dankiv, 2022; Baranovski et al., 2023) та присутність у різних синтаксонах піонерної та рудеральної рослинності (Dubyna et al., 2022).

Як відомо, пурпурове забарвлення листків переважно обумовлене локалізацією антоціанових пігментів у поверхневих тканинах (Davies et al., 2022). Разом із тим, незважаючи на таку виразну ознаку, пігментний склад тканин вегетативних органів *L. purpureum* дотепер не було з'ясовано. Для дослідження цього явища, на нашу думку, найбільш адекватним є застосування комплексу спектральних методів, який включає неруйнівну твердофазну спектрофотометрію, спектроскопію поглинання пігментних екстрактів та ідентифікацію хелатувальної здатності антоціанів (Fedenko, 2022). Інформативна значущість методичних підходів твердофазної спектрофотометрії полягає у можливості моделювання процесу взаємодії сонячного випромінювання залежно від довжини хвилі зі світлопоглинальними сполуками, які локалізовані у поверхневих тканинах (спектроскопія відбиття), а також у встановленні спектральних параметрів, що визначають сприйняття кольору та колірні відмінності рослинних тканин (колориметрія) (Fedenko, 2008, 2022).

Мета роботи — порівняльний аналіз спектральних характеристик різних груп листків та стебла із пурпуровим забарвленням у період цвітіння на початкових етапах вегетативного розвитку *L. purpureum*.

Матеріали та методи

Рослинний матеріал

За об'єкт дослідження обрано *Lamium purpureum*. Для аналізу відбирали найнижчі приквіткові листки (далі — приквіткові листки), найвищі стеблові листки під основою суцвіття (далі — стеблові листки) та частину стебла між ними. Відбір матеріалу проводили на стадії цвітіння у квітні 2024 р. на території луки біля річки Мокра Сура (с. Новоолександрівка, Дніпровський р-н, Дніпропетровська обл.).

Визначення вмісту антоціанів

Виділення екстракту із тканин вегетативних органів проводили із використанням суміші ізопропанол та 1%-ва HCl (за об'ємом) упродовж 24 год за температури 4 °C (Fedenko, 2022). Вміст антоціанів визначали спектрофотометричним методом (Fourati et al., 2017). Оптичну густину антоціанів ($A_{ант}$) в екстрактах розраховували за формулою:

$$A_{ант} = A_{530} - (0{,}24\ A_{653}) \quad (1),$$

де A_{530} та A_{653} — оптична густина, яка визначена при 530 нм та 653 нм, відповідно.

Загальний вміст антоціанів визначали як еквівалент ціанідин 3-глюкозиду (мг) на г сирої маси, використовуючи коефіцієнт екстинкції 26900 л•моль$^{-1}$см$^{-1}$ та молярну масу 449,2 г•моль$^{-1}$.

Сорбційна взаємодія екстрактів з оксидом алюмінію

Сорбцію сполук з екстрактів на поверхні оксиду алюмінію (нейтральний, II ступінь активності

за Брокманом) проводили за однакового співвідношення об'єму рослинного екстракту (мл) і наважки сорбенту (г) (5 : 1) упродовж 15 хв при постійному перемішуванні. Після фільтрування адсорбат промивали ізопропанолом та висушували. Контроль за процесом сорбції здійснювали за величиною оптичної густини максимуму при 540 нм у спектрах поглинання екстракту до і після обробки Al_2O_3. Спектри поглинання екстрактів вимірювали на спектрофотометрі DU–7HS. Для обчислення ступеня вилучення антоціанів із екстракту (X, %) використовували таке рівняння:

$$X = (A_0 - A_1)\cdot 100/A_0 \quad (2),$$

де A_0 — оптична густина вихідного екстракту; A_1 — оптична густина екстракту після його обробки Al_2O_3.

Вимірювання відбивальних характеристик

Спектральні характеристики листків вимірювали одразу після відбору рослинного матеріалу. Аналогічні умови вимірювання відбивальних і колориметричних параметрів тканин та адсорбатів забезпечувались шляхом використання стандартним тримачем твердих зразків до спектрофотометра за умов повного покриття поверхні (діаметр 2 см). Спектри відбиття отримували в діапазоні 350–800 нм на спектрофотометрі Specord M40 (Німеччина), додатково обладнаному приставкою з фотометричною кулею і касетою "Data Handling I" для математичної обробки результатів вимірювання. Це дозволило проводити згладжування спектральних кривих із виключенням випадкових шумових піків (Fedenko, 2008). Корекцію 100%-ої лінії проводили за стандартом MgO, оптичної нульової точки — за стандартом чорного порожнистого тіла. Інтенсивність спектрів відбиття наводили в одиницях абсорбції.

Використовуючи коефіцієнти відбиття при 550 (R_{550}) і 700 нм (R_{700}), для порівняльної характеристики накопичення антоціанів у поверхневих тканинах розраховували показник mARI (anthocyanin reflectance index) за рівнянням (Sytar et al., 2020) рівнянням:

$$mARI = [(R_{550})^{-1} - (R_{700})^{-1}] \times R_{780} \quad (3)$$

Диференційний спектр обчислювали за різницею абсорбції ΔA при відповідній довжині хвилі у спектрах відбиття приквіткових листків відносно стеблових листків та стебел.

Колориметричні вимірювання

Для колориметричних вимірювань використовували спектрофотометр Specord M 40 з іншою касетою для математичної обробки "Color Measurement". Координати кольору (*X*, *Y*, *Z*) та координати кольоровості (*x*, *y*) визначали в системі CIE *XYZ*. Домінувальну довжину хвилі λ_d та умовну чистоту кольорового тону P_e встановлювали графічним способом за координатами зразків у кольоровому просторі (Fedenko, 2008). У колориметричній системі CIE $L^*a^*b^*$ визначали інтегральний коефіцієнт яскравості L^* та колориметричні коефіцієнти a^* (співвідношення зеленої та червоної компонент кольору) і b^* (співвідношення синьої та жовтої компонент кольору). Ґрунтуючись на значеннях колориметричних коефіцієнтів, обчислювали повну колірну відмінність ΔE^* між тканинами або адсорбатами, а також розподіл цієї інтегральної величини на відмінності за яскравістю ΔL^*, кольоровістю ΔC^* та кольоровим тоном ΔH^* (Fedenko, 2022).

Статистична обробка результатів

При проведенні досліджень вибірка складала 10–15 рослин, в кожному варіанті досліду було не менше 3-х повторень. Результати наведені як середні величини зі стандартним відхиленням.

Значущість відмінностей оцінювали за t-критерієм Ст'юдента при $p \leq 0{,}05$, використовуючи пакет статистичного аналізу Statistica, версія 10.0. На рис. 2 наведені середні величини та їхні стандартні похибки.

Результати та обговорення

Для порівняльної характеристики тканин *Lamium purpureum* встановлено відбивальні та колориметричні характеристики, які пов'язані з селективним поглинанням пігментами за довжиною хвилі та розсіюванням світла структурами тканин (De Paola et al., 2026). Попри ефекти розсіювання світла, присутність характерних максимумів у спектрах відбиття дозволяє ідентифікувати пігменти в інтактних тканинах (De Paola et al., 2026). Світлопоглинальна здатність тканин *L. purpureum* характеризується наявністю декількох максимумів ($\lambda_{1т}$ – $\lambda_{4т}$), обумовлених сполуками із різними хромофорними системами (рис. 1, табл. 1).

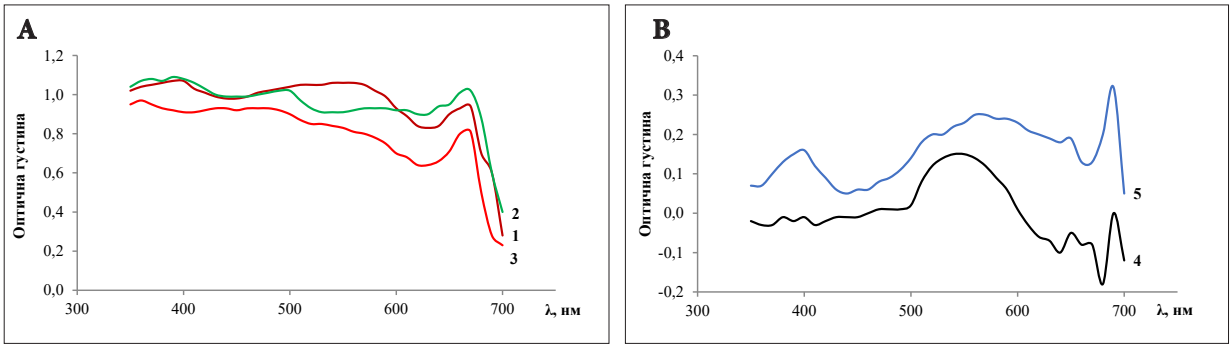


Рис. 1. Спектри відбиття (A) та диференційні спектри (B) тканин вегетативних органів *Lamium purpureum*: 1 — приквіткові листки; 2 — стеблові листки; 3 — стебла; 4 — приквіткові листки відносно стеблових; 5 — приквіткові листки відносно стебел

Fig. 1. Reflectance spectra (A) and differential spectra (B) of tissues of vegetative organs of *Lamium purpureum*: 1 — lowermost floral leaves; 2 — uppermost stem leaves below the verticillaster; 3 — stems; 4 — floral leaves relative to leaves below the verticillaster; 5 — floral leaves relative to stems

Таблиця 1. **Відбивальні характеристики тканин вегетативних органів *Lamium purpureum***

Table 1. **Reflectance characteristics of tissues of vegetative organs of *Lamium purpureum***

Показник	Приквіткові листки	Стеблові листки	Стебла
Положення максимуму			
$\lambda_{1т}$, нм	365, 397	365, 395	363, 395
$\lambda_{2т}$, нм	–	495	440, 485
$\lambda_{3т}$, нм	558	540	540
$\lambda_{4т}$, нм	677	677	677
Інтенсивність максимуму			
$A_{1т}$	1,04	1,07	0,96
$A_{2т}$	–	1,02	0,94
$A_{3т}$	1,04	0,90	0,85
$A_{4т}$	0,90	1,00	0,80
Співвідношення інтенсивностей максимумів			
$A_{1т}/A_{4т}$	1,16	1,07	1,20
$A_{2т}/A_{4т}$	–	1,02	1,17
$A_{3т}/A_{4т}$	1,16	0,90	1,06

Визначальною особливістю досліджених зразків є наявність у спектрах відбиття максимуму при 540–558 нм ($\lambda_{3т}$), який обумовлено локалізацією антоціанів у поверхневих тканинах (Nakashima, Yamakita, 2023). Інтенсивна смуга ($\lambda_{1т}$) із двома розділеним максимумами при 363–365 і 395–397 нм віднесена до УФ-поглинальних флавоноїдів (Falcioni et al., 2020; Koski et al., 2024). Максимумальні показники 440–495 нм ($\lambda_{2т}$), які пов'язані із каротиноїдами та смугою Соре хлорофілів (Nakashima, Yamakita, 2023), проявлялись у спектрах стеблових листків і стебел. Відсутність максимумів $\lambda_{2т}$ для приквіткових листків може бути пояснена проявом широкої смуги антоціанів. Для усіх зразків характерна наявність довгохвильової Q-смуги хлорофілу *a* при 677 нм ($\lambda_{4т}$) (Nakashima, Yamakita, 2023). Оскільки інтенсивність аналітичних максимумів корелятивно пов'язана із вмістом пігментів у листках (Falcioni et al., 2020), для порівняльної характеристики тканин використано співвідношення оптичної густини максимумів $A_{1т}$ – $A_{3т}$ та оптичної густини довгохвильового максимуму $A_{4т}$ хлорофілів (табл. 1). Для всіх тканин інтенсивність максимуму флавоноїдів перевищувала аналогічний показник для хлорофілів ($A_{1т}/A_{4т} > 1$). Максимальне значення співвідношення інтенсивностей максимумів антоціанів і хлорофілів $A_{3т}/A_{4т}$ відзначено для приквіткових листків.

Відмінності у взаємодії випромінювання залежно від довжини хвилі у приквіткових листках, порівняно із стебловими листками та стеблами, підтверджено за використання диференційної спектрофотометрії (Dewez, Perreault, 2013). У результаті розрахунку різниці між спектральними кривими відбиття отримано відповідні диференційні спектри (рис. 1). У диференційному спектрі приквіткових листків, порівняно із стебловими листками, наявність максимуму при 550 нм засвідчило підвищене накопичення антоціанів, а мінімуму при 680 нм — відносне зниження локалізації хлорофілів. У разі диференційного спектра

Таблиця 2. **Колориметричні характеристики тканин вегетативних органів *Lamium purpureum***
Table 2. **Colorimetric characteristics of tissues of vegetative organs of *Lamium purpureum***

Колориметричний параметр	Приквіткові листки	Стеблові листки	Стебла
λ_d, нм (домінувальна довжина хвилі)	495,8 ***	579,4	593,5
P_e, % (умовна чистота кольорового тону)	8,03	13,46	19,64
L^* (коефіцієнт яскравості)	37,46	41,76	46,54
a^* (колориметричний коефіцієнт)	0,77	–7,00	0,81
b^* (колориметричний коефіцієнт)	–38,06	–32,52	–33,01

*** Тут і в табл. 5 позначено додаткову довжину хвилі в діапазоні пурпурових кольорів.

Таблиця 3. **Колірні відмінності приквіткових листків порівняно із стебловими листками та стеблами *Lamium purpureum***
Table 3. **Color differences of lowermost floral leaves compared to uppermost stem leaves below the verticillaster and stems of *Lamium purpureum***

Показник колірної відмінності	Стеблові листки	Стебла
ΔE* (повна колірна відмінність)	10,47	10,39
ΔL* (відмінність за яскравістю)	–4,30	–9,08
ΔC* (відмінність за кольоровістю)	4,80	5,04
ΔH* (відмінність за кольоровим тоном)	8,25	0,16

приквіткових листків порівняно зі стеблами присутність максимумів при 570 і 690 нм підтвердило переважне накопичення обох пігментів. Відсутність в обох диференційних спектрах виражених екстремумів у діапазоні УФ-поглинальних флавоноїдів можна пояснити подібною тенденцією локалізації цих сполук у порівняних тканинах. Параметри диференційних спектрів відбиття слід розглядати як маркерні ознаки специфічної локалізації антоціанів у різних тканинах *L. purpureum*.

У результаті дослідження спектрального розподілу світлового потоку, що відбивається від поверхневих тканин, визначено відповідні колориметричні параметри (табл. 2). Слід відзначити, що встановлене нами значення домінувальної довжини хвилі у діапазоні пурпурових кольорів відповідає зоровому сприйняттю приквіткових листків. Складання різних кольорових стимулів пігментів призвело до низьких значень величини умовної чистоти кольорового тону досліджених зразків (Ohta, Robertson, 2006). Мінімальне значення коефіцієнта яскравості встановлено для приквіткових листків. Позитивні значення коефіцієнта a^* приквіткових листків і стебел відповідають домінуванню червоного кольору (Cairone et al., 2020), що обумовлено підвищеною локалізацією антоціанів і узгоджувалось із величинами $A_{3т}/A_{4т}$ та mARI. Негативне значення показника a^* для стеблових листків свідчило про домінування зеленого кольору (Cairone et al., 2020). Досліджені тканини також характеризувались негативними значеннями коефіцієнта b^*.

Різний спектральний розподіл інтенсивності відбиття залежно від довжини хвилі обумовив колірні відмінності приквіткових листків відносно стеблових листків та стебел (табл. 3), що встановлено із використанням диференційної колориметрії. Розраховані величини інтегральної колірної відмінності ΔE^* свідчили про суттєву різницю у кольорових характеристиках порівнюваних тканин згідно з рекомендаціями (Żbik et al., 2023). Порівнянний внесок в інтегральну величину ΔE^* приквіткових листків відносно стеблових листків відзначено для відмінності за яскравістю ΔL^* та кольоровістю ΔC^*, найсуттєвіший — для відмінності за кольоровим тоном ΔH^* (табл. 3), оскільки цей показник формується переважно внаслідок підвищення інтенсивності максимуму антоціанів у спектрі відбиття (рис. 1, табл. 1). Для колірної відмінності приквіткових листків відносно стебел найсуттєвіший внесок у величину ΔE^* встановлено для відмінності за яскравістю ΔL^*, порівнянний — для відмінності за кольоровістю ΔC^*, несуттєвий — для відмінності за кольоровим тоном ΔH^* (табл. 3).

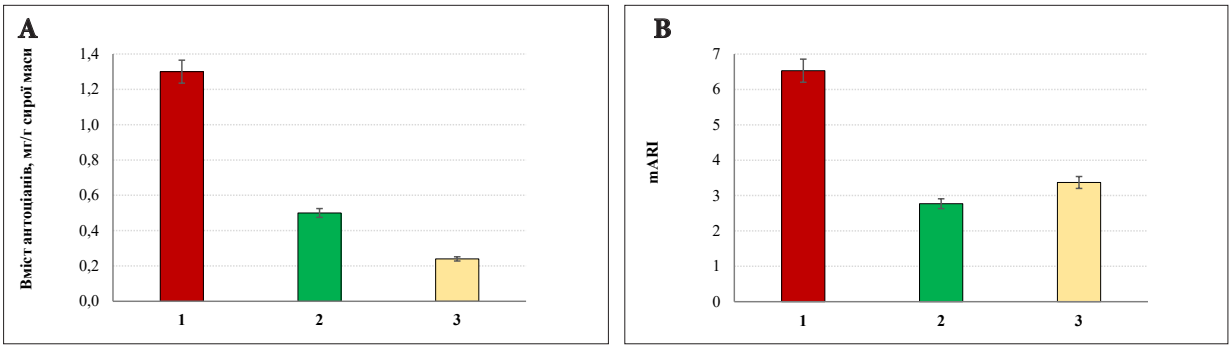


Рис. 2. Вміст антоціанів (A) та спектральний індекс mARI (B) тканин *Lamium purpureum*: 1 — приквіткові листки; 2 — стеблові листки; 3 — стебла

Fig. 2. Anthocyanin content (A) and mARI spectral index (B) of tissues of *Lamium purpureum*: 1 — lowermost floral leaves; 2 — uppermost stem leaves below the verticillaster; 3 — stems

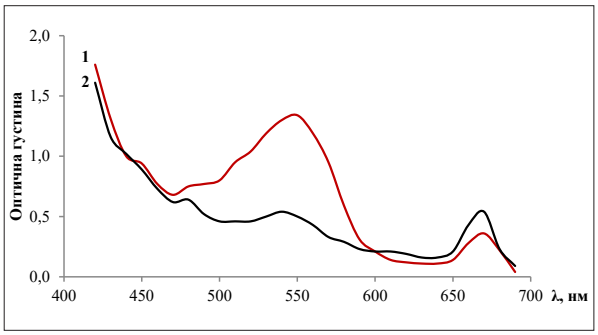


Рис. 3. Спектри поглинання екстракту найнижчих приквіткових листків *Lamium purpureum*: 1 — до обробки Al_2O_3; 2 — після обробки Al_2O_3

Fig. 3. Absorption spectra of the extract of lowermost floral leaves of *Lamium purpureum*: 1 — before Al_2O_3 treatment; 2 — after Al_2O_3 treatment

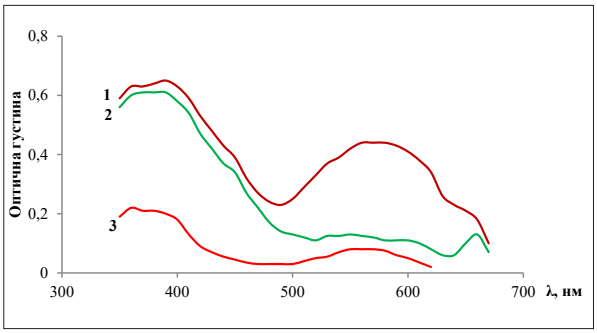


Рис. 4. Спектри відбиття адсорбатів з екстрактів тканин *Lamium purpureum* на оксиді алюмінію (Al_2O_3): — приквіткові листки; 2 — стеблові листки; 3 — стебла

Fig. 4. Reflectance spectra of adsorbates from extracts of tissues of *Lamium purpureum* on aluminum oxide (Al_2O_3): 1 — lowermost floral leaves; 2 — uppermost stem leaves below the verticillaster; 3 — stems

Для порівняльного аналізу накопичення антоціанів у вегетативних органах використовували два методичних підходи, які відрізняються різною інформативною значущістю. Перший підхід — визначення вмісту пігменту в розрахунку на сиру масу після екстракції рослинного препарату. Другий варіант — встановлення спектральних індексів mARI, які розраховані зі спектрів відбиття і відображують рівень локалізації антоціанів у поверхневих тканинах. Серед досліджених зразків максимальний вміст антоціанів спостерігався у загальній масі приквіткових листків та був знижений для стеблових листків у 2,6 раза, для стебел — у 5,4 раза (рис. 2). Така ж тенденція зниження порівняно із приквітковими листками підтверджена для спектрального індексу mARI: у 2,4 раза для стеблових листків та в 1,9 раза для стебел (рис. 2). Менший ступінь зниження спектрального показника mARI пояснюється переважною локалізацією антоціанів у поверхневих тканинах. Водночас індекс mARI підтвердив більш контрастні відміни у локалізації антоціанів для досліджених тканин порівняно з інтенсивністю аналітичного максимуму $A_{3т}$ у спектрах відбиття (табл. 1).

Антоціани у спектрі поглинання екстракту приквіткових листків ідентифіковано за наявністю характерного максимуму при 540 нм, інтенсивність якого перевищує інтенсивність максимуму хлорофілу *a* при 667 нм у 3,7 раза (рис. 3).

Враховуючи хелатувальні властивості антоціанів (Fedenko et al., 2017), ідентифікація цих сполук може бути проведена шляхом

Таблиця 4. **Відбивальні характеристики адсорбатів з екстрактів тканин *Lamium purpureum* на оксиді алюмінію (Al_2O_3)**
Table 4. **Reflectance characteristics of adsorbates from extracts of tissues of *Lamium purpureum* on aluminum oxide (Al_2O_3)**

Показник	Приквіткові листки	Стеблові листки	Стебла
Положення максимуму			
λ_{1a}, нм	365, 391	365, 387	366, 385
λ_{2a}, нм	581	550, 590	567
λ_{3a}, нм	660	670	–
Інтенсивність максимуму			
A_{1a}	0,63; 0,64	0,61; 0,61	0,22; 0,21
A_{2a}	0,43	0,12; 0,11	0,07
A_{3a}	0,21	0,13	–
Співвідношення інтенсивностей максимумів			
A_{1a}/A_{3a}	3,07	4,69	–
A_{2a}/A_{3a}	2,05	0,96	–

хемосорбції із рослинного екстракту на Al_2O_3 із наступним визначенням спектральних характеристик продукту взаємодії (адсорбату) (Fedenko, 2022). У результаті сорбційної взаємодії сполук в екстракті приквіткових листків з Al_2O_3 отримано адсорбат синього кольору. При цьому інтенсивність максимуму поглинання антоціанів в екстракті зменшилась у 2,5 рази (рис. 3), а ступінь вилучення антоціанів з екстракту за даними спектрофотометричного контролю склала 59%. Аналогічним чином отримано адсорбати з екстрактів стеблових листків та стебел. Характеристики отриманих адсорбатів досліджено із використанням твердофазної спектрофотометрії. Наявність розширеного максимуму при 550–590 нм (λ_{2a}) у спектрах відбиття адсорбатів підтвердила іммобілізацію антоціанів на поверхні сорбенту (рис. 4, табл. 4).

Батохромне зміщення на 23–40 нм максимуму антоціанів у спектрах відбиття адсорбатів (λ_{2a}) порівняно з тканинами ($\lambda_{3т}$) підтвердило хемосорбцію цих сполук із неасоційованими поверхневими групами ≡AlOH сорбенту, що підвищило ступінь спряження хромофорної системи (Fedenko et al., 2017). Інтенсивність максимуму λ_{2a} зменшувалась відповідно до вмісту антоціанів у тканинах (рис. 2). Високоінтенсивна короткохвильова смуга λ_{1a} із розподіленими максимумами при 365–366 та 385–391 нм підтвердила адсорбцію флавоноїдів на поверхні сорбенту (рис. 4, табл. 4). Раніше подібні максимуми у спектрах відбиття адсорбатів встановлено при дослідженні хемосорбції флавоноїдів на Al_2O_3 з екстрактів квіток інвазійних видів родини *Asteraceae*: *Solidago canadensis* L., *Ambrosia artemisiifolia* L. і *Erigeron canadensis* L. (Fedenko, 2022, 2025a, 2025b). Присутність довгохвильового максимуму λ_{3a} при 670 нм для адсорбату з екстракту стеблових листків свідчила про наявність адсорбованих хлорофілів (рис. 4, табл. 4). Для адсорбату з екстракту приквіткових листків максимум λ_{3a} спостерігався як довгохвильовий перегин при 660 нм, а у разі препарату з екстракту стебел він був відсутній. Величини інтенсивності аналітичних максимумів та їхні співвідношення підтвердили, що флавоноїди та антоціани є основними компонентами адсорбованих сполук (рис. 4, табл. 4).

Особливості пігментного складу обумовили колориметричні параметри адсорбатів (табл. 5). Суперпозиція кольорових стимулів адсорбованих флавоноїдів і антоціанів у хелатованій формі призвела до низьких значень величини умовної чистоти кольорового тону препаратів приквіткових листків і стебел (Ohta, Robertson, 2006). Вище значення P_e із кольоровим стимулом у діапазоні жовтого кольору для адсорбату з екстракту стеблових листків слід пояснити домінуванням флавоноїдів порівняно з антоціанами та хлорофілами, що узгоджувалось з інтенсивністю відповідних максимумів у спектрах відбиття (рис. 4). Максимальне значення коефіцієнта яскравості встановлено для препарату приквіткових листків. Досліджені адсорбати також характеризувались негативними значеннями коефіцієнтів a^* і b^*, що характерно для хелатованих антоціанів (Fedenko et al., 2017).

Таблиця 5. **Колориметричні характеристики адсорбатів з екстрактів тканин *Lamium purpureum* на оксиді алюмінію (Al_2O_3)**

Table 5. **Colorimetric characteristics of adsorbates from extracts of tissues of *Lamium purpureum* on aluminum oxide (Al_2O_3)**

Колориметричний параметр	Приквіткові листки	Стеблові листки	Стебла
λ_d, нм (домінувальна довжина хвилі)	583,4	579,0	495,8 ***
P_e, % (умовна чистота кольорового тону)	2,88	23,30	2,17
L^* (коефіцієнт яскравості)	71,30	91,01	95,49
a^* (колориметричний коефіцієнт)	–11,00	–13,06	–11,01
b^* (колориметричний коефіцієнт)	–61,55	–47,85	–81,17

Таблиця 6. **Колірні відмінності адсорбату з екстракту приквіткових листків порівняно із адсорбатами з екстрактів стеблових листків та стебел *Lamium purpureum***

Table 6. **Color differences of adsorbate from lowermost floral leaves extract compared to adsorbates from extracts of uppermost stem leaves below the verticillaster and stems of *Lamium purpureum***

Показник колірної відмінності	Стеблові листки	Стебла
ΔE^* (повна колірна відмінність)	24,09	31,15
ΔL^* (відмінність за яскравістю)	19,71	24,19
ΔC^* (відмінність за кольоровістю)	–12,92	19,39
ΔH^* (відмінність за кольоровим тоном)	4,99	3,00

За даними диференційної колориметрії адсорбат з екстракту приквіткових листків мав суттєву колірну відмінність порівняно з іншими препаратами за величиною інтегральної колірної відмінності ΔE^* (табл. 6). Суттєвий внесок в інтегральну величину ΔE^* між адсорбатами відзначено для відмінності за яскравістю ΔL^* та кольоровістю ΔC^* (табл. 6), що пов'язано із різною кількістю адсорбованих антоціанів відповідно до їхньої концентрації у вихідних екстрактах.

Отже, застосування комплексу спектральних методів дозволило встановити пігментний склад тканин різних вегетативних органів *L. purpureum*. Специфічність пігментації приквіткових і стеблових листків, а також верхньої частини стебла пов'язана з локалізацією у поверхневих тканинах флавоноїдів, антоціанів, каротиноїдів і хлорофілів у різних співвідношеннях. Пурпурове забарвлення тканин обумовлено накопиченням антоціанів, які ідентифіковані із використанням неруйнівного методу твердофазної спектрофотометрії, встановлення характерного максимуму поглинання в екстрактах і хелатувальної здатності при сорбційній взаємодії з оксидом алюмінію. Максимальне накопичення антоціанів відзначено у поверхневих тканинах приквіткових листків порівняно із найвищими стебловими листками та частиною стебел між цими листками, що підтверджено підвищеним значенням інтенсивності аналітичного максимуму в спектрах відбиття тканин, спектральним індексом mARI, вмістом цих сполук за даними спектрофотометричного аналізу. Визначена шляхом колориметричних вимірів домінувальна довжина хвилі у діапазоні пурпурових кольорів для приквіткових листків підтвердила специфічну особливість *L. purpureum*.

Враховуючи встановлений нами факт накопичення антоціанів у вегетативних органах, слід проаналізувати, які додаткові властивості мають рослини *L. purpureum* з огляду на літературні дані щодо світлопоглинальної здатності цих сполук. Як відомо (Dong et al., 2024), структура антоціанів (глікозидів антоціанідинів) є делокалізованою π-спряженою системою, для якої характерні два основних максимуми поглинання в УФ (260–280 нм) та видимому (490–550 нм) діапазонах. Окрім цих основних смуг також проявляються менш інтенсивні максимуми у вигляді перегинів на спектральній кривій при 310–340 і 400–450 нм залежно від типу антоціанідину, характеру заміщення та кількості вуглеводних фрагментів (Dong et al., 2024). Оскільки антоціанідини *in vivo* переважно існують як глікозиди, такі спектральні характеристики

дозволяють здійснювати фотопротекцію від УФ-В до видимого діапазону в рослинах (Agati et al., 2021). Поєднання інтенсивного поглинання в УФ-діапазоні та надшвидкої деактивації шляхом внутрішнього перетворення із високою квантовою ефективністю дало підстави вважати антоціани суперфотокислотами із захисною роллю від надмірної сонячної радіації у тканинах вегетативних органів рослин, у тому числі від окиснювального стресу завдяки антиоксидантним властивостям (Rodrigues et al., 2009). Наявність максимуму поглинання в довгохвильовому діапазоні УФ-С (до 285 нм) дозволяє віднести антоціани до дисипативних структур, які виникли в процесі еволюції для забезпечення стійкості рослинних організмів до небезпечного УФ-С світла завдяки здатності до значної абсорбції високоенергетичних фотонів зі швидким перетворенням індукованої енергії електронного збудження в тепло (Michaelian, 2024).

Враховуючи поліфункціональність антоціанів у взаємодії рослин із середовищем (Fedenko et al., 2020), слід зазначити, що феномен сезонної варіації накопичення цих метаболітів раніше досліджено також для деяких інших видів рослин. Так, у результаті порівняльного аналізу листків з антоціановим забарвленням на початкових етапах розвитку та зрілих зелених листків встановлено, що при адаптації до сезонних змін антоціани беруть участь у безпечному розсіюванні енергії збудження у вигляді тепла та підсилюють фотозахисний ефект у рослин *Mangifera indica* L. (Gupta et al., 2021), а також *Castanopsis chinensis* (Spreng.) Hance та *Syzygium acuminatissimum* (Blume) DC. (*Acmena acuminatissima* (Blume) Merr. & L.M. Perry) (Yu et al., 2021). Зміни інтенсивності максимуму при 535 нм у спектрі відбиття листків *Solanum lycopersicum* L. запропоновано як маркерну ознаку активації регульованого розсіювання тепла для стресових умов вирощування рослин (Pescador-Dionisio et al., 2025). Підтверджена роль антоціанових пігментів у регуляції фотосинтезу за умов надлишку поглиненої світлової радіації у *Tradescantia pallida* (Rose) D.R. Hunt (Dewez, Perreault, 2013). З огляду на відомі дані слід припустити, що тканини із вищим вмістом антоціанів отримують більше теплової енергії у період раннього цвітіння *L. purpureum*. Цей феномен відомий як "leaf warming" (Agati et al., 2021). Враховуючи літературні дані, слід припустити, що антоціани можуть забезпечувати пластичність до світлового режиму рослин *L. purpureum* як сціогеліофіту, що проявляється у стабільності фізіологічних функцій як за умов затінення, так і при повному освітленні.

Антоціани слід розглядати як додатковий компонент у системі фотозахисту, окрім флавоноїдів із протекторною здатністю відносно УФ-А (315–400 нм) та УФ-В (280–315 нм) радіації (Taniguchi et al., 2023). Оскільки для досліджених тканин встановлено порівняну абсорбцію для флавоноїдів (табл. 1), додаткове накопичення антоціанів може підсилювати фотопротекторний ефект. Цей факт підтверджено параметрами диференційних спектрів відбиття, які слід розглядати як маркерні ознаки відмінностей у взаємодії різних тканин із випромінюванням залежно від довжини хвилі (рис. 1). При цьому встановлення диференційних спектрів відбиття в одиницях абсорбції дозволило виявити відмінність тканин без видалення антоціанового епідермального шару клітин, на відміну від методичного підходу, який використано у роботі (Dewez, Perreault, 2013).

Запропонований методичний підхід дослідження накопичення антоціанів у тканинах вегетативних органів під час цвітіння на прикладі *L. purpureum* має перспективи застосування при експериментальному підтвердженні захисної стратегії для репродуктивного успіху інших видів (Barrett et al., 2008), а також для з'ясування ролі фенольних метаболітів у підвищенні конкурентоспроможності інвазійних рослин відповідно до гіпотези зміни захисту (shifting defence hypothesis) (Wan et al. 2019).

Інший аспект отриманих результатів пов'язаний із сучасним напрямом використання ресурсного потенціалу чужорідних (адвентивних) рослин (Lorenzo, Morais, 2023). Глуха кропива пурпурова привертає увагу як представник дикорослих лікарських рослин, які створюють сировинну базу в Україні для отримання біологічно активних речовин (Veretiuk et al., 2023). Екстракти *L. purpureum* проявляють інсектицидну, антифунгіцидну, сечогінну, протизапальну, протидіарейну, зв'язувальну, відхаркувальну, протиревматичну, кровоспинну, антиоксидантну та антимікробну активність (Abdullahi et al., 2019; Vergun et al., 2019; Grujić et al., 2017, 2020). У зв'язку із цим визначені діагностичні ознаки сировини *L. purpureum* при

досліджені морфолого-анатомічної будови листків, стебел та квіток (Melnyk, Vodoslavskyi, 2023). За сучасними вимогами для доцільності використання інструментальних методів щодо удосконалення ідентифікації лікарської сировини (Hlushchenko, Kutsenko, 2023) встановлені спектральні характеристики тканин мають перспективу для подальшої розробки методичних підходів стандартизації трави глухої кропиви пурпурової на додаток до визначення вмісту фенольних сполук і флавоноїдів (Matkowski, Piotrowska, 2006; Leja et al., 2007; Grujić et al., 2017, 2020; Vergun et al., 2019; Deniz et al., 2021).

Отримані результати також удосконалюють деякі методичні підходи, які стосуються використання спектроскопії відбиття для контролю *L. purpureum* у посівах сільськогосподарських культур (Vrindts et al., 2002), диференціації видів (Falcioni et al., 2020), а також колориметричних досліджень листків за умов різних режимів освітлення (Cabahug et al., 2017).

Висновки

Із використанням комплексу спектральних методів вперше досліджено пігментний склад тканин різних вегетативних органів *L. purpureum*. Відповідно до положення та інтенсивності аналітичних максимумів у спектрах відбиття встановлено, що специфічність пігментації приквіткових листків, найближчих до основи суцвіття стеблових листків та частини стебла між цими листками пов'язана із локалізацією у поверхневих тканинах флавоноїдів, антоціанів, каротиноїдів та хлорофілів у різних співвідношеннях. Пурпурове забарвлення тканин обумовлено накопиченням антоціанів, які ідентифіковані за характерним максимумом у спектрах відбиття тканин і спектрах поглинання екстрактів, колориметричними параметрами, хелатувальною здатністю. Як маркерні ознаки контрасту у взаємодії різних тканин із випромінюванням залежно від довжини хвилі запропоновано параметри диференційних спектрів відбиття. Максимальне накопичення антоціанів відзначено у поверхневих тканинах приквіткових листків. Специфічна особливість *L. purpureum* підтверджена значенням домінувальної довжини хвилі у діапазоні пурпурових кольорів для приквіткових листків. Позитивні значення колориметричного коефіцієнта a^* приквіткових листків і стебел із підвищеною локалізацією антоціанів відповідали домінуванню червоного кольору, а негативне значення для стеблових листків — домінуванню зеленого. Контраст у сприйняті забарвлення встановлено шляхом розрахунку колірної відмінності між тканинами. Запропонований методичний підхід може бути використано для ідентифікації сировини глухої кропиви пурпурової при отриманні біологічно активних препаратів та неруйнівної діагностики пігментного складу рослин.

Подяки

Дослідження проведено в рамках науково-дослідної роботи "Екологічна оцінка інвазійної активності для створення Кадастру адвентивних видів флори і фауни степової зони України" (номер держреєстрації 0121U109771) за підтримки Міністерства освіти і науки України.

ДОТРИМАННЯ ЕТИЧНИХ НОРМ

Автор повідомляє про відсутність будь-якого конфлікту інтересів.

ORCID

В.С. Феденко https://orcid.org/0000-0002-4696-6981

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

Abdullahi A.M., Sarki A., Hafizu M.S., Kolawole A.A., Kunihya I.Z., Yusuf H.M., Josept R. 2019. Insecticidal properties of leaf extract of *Lamium purpureum* (*Lamiaceae*) against maize weevils *Sitophilus zeamais* (*Coleoptera*: *Curculionidae*). *Jewel Journal of Scientific Research*, 4(1-2): 76–82.

Agati G., Guidi L., Landi M., Tattini M. 2021. Anthocyanins in photoprotection: knowing the actors in play to solve this complex ecophysiological issue. *New Phytologist*, 232(6): 2228. https://doi.org/10.1111/nph.17648

Baranovski B.A., Karmyzova L.A., Dubyna D.V., Shevera M.V. 2023. Bioecology and hemeroby of flora species in the Northern Steppe Dnipro Region. *Biosystems Diversity*, 31(4): 548–577. https://doi.org/10.15421/012365

Barišić N., Stojković B., Tarasjev A. 2006. Plastic responses to light intensity and planting density in three *Lamium* species. *Plant Systematics and Evolution*, 262: 25–36. https://doi.org/10.1007/s00606-006-0452-7

Barrett S.C., Colautti R.I., Eckert C.G. 2008. Plant reproductive systems and evolution during biological invasion. *Molecular Ecology*, 17(1): 373–383. https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2007.03503.x

Blinkova O.I. 2018. Features of the adaptation of alien species *Lamium purpureum* L. of secondary area. *Cherkasy University Bulletin. Biological Sciences Series*, 1: 7–16. [Блінкова О.І. 2018. Особливості адаптації чужорідного виду *Lamium purpureum* L. у вторинному ареалі. *Вісник Черкаського університету. Серія "Біологічні науки"*, 1: 7–16.] https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-1-7-16

Cabahug R.A.M., Soh S.Y., Nam S.Y. 2017. Effects of shading on the growth, development, and anthocyanin content of *Echeveria agavoides* and *E. marcus*. *Flower Research Journal*, 25(4): 270–277. https://doi.org/10.11623/frj.2017.25.4.12

Cairone F., Carradori S., Locatelli M., Casadei M.A., Cesa S. 2020. Reflectance colorimetry: A mirror for food quality — A mini review. *European Food Research and Technology*, 246(2): 259–272. https://doi.org/10.1007/s00217-019-03345-6

Creech J.E., Santini J.B., Conley S.P., Westphal A., Johnson W.G. 2007. Purple dead-nettle (*Lamium purpureum*) and soybean cyst nematode response to cold temperature regimes. *Weed Science*, 55(6): 592–598. https://doi.org/10.1614/WS-07-040.1

Davies K.M., Landi M., van Klink J.W., Schwinn K.E., Brummell D.A., Albert N.W., Chagné D., Jibran R., Kulshrestha S., Zhou Y., Bowman J. L. 2022. Evolution and function of red pigmentation in land plants. *Annals of Botany*, 130(5): 613–636. https://doi.org/10.1093/aob/mcac109

DeFelice M.S. 2005. Henbit and the dead-nettles, *Lamium* spp. — archangels or demons? *Weed Technology*, 19(3): 768–774. https://doi.org/10.1614/WT-05-072.1

De Paola L., Veldhuis T.A., Kraaij M., Stavenga D.G., Tiedge K.J., van der Kooi C.J. 2026. Stacked scattering: The key to bright flowers lies in the mesophyll. *American Journal of Botany*, 113(1): e70104. https://doi.org/10.1002/ajb2.70104

Deniz F.S.S., Orhan I.E., Duman H. 2021. Profiling cosmeceutical effects of various herbal extracts through elastase, collagenase, tyrosinase inhibitory and antioxidant assays. *Phytochemistry Letters*, 45: 171–183. https://doi.org/10.1016/j.phytol.2021.08.019

Dewez D., Perreault F. 2013. Effect of the anthocyanic epidermal layer on Photosystem II and I energy dissipation processes in *Tradescantia pallida* (Rose) Hunt. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35: 463–472. https://doi.org/10.1007/s11738-012-1089-5

Dong W., Yang X., Zhang N., Chen P., Sun J., Harnly J.M., Zhang M. 2024. Study of UV–Vis molar absorptivity variation and quantitation of anthocyanins using molar relative response factor. *Food Chemistry*, 444: 138653. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138653

Dubyna D.V., Dziuba T.P., Iemelianova S.M., Protopopova V.V., Shevera M.V. 2022. Alien species in the pioneer and ruderal vegetation of Ukraine. *Diversity,* 14(12): 1085. https://doi.org/10.3390/d14121085

Falcioni R., Moriwaki T., Pattaro M., Furlanetto R.H., Nanni M.R., Antunes W.C. 2020. High resolution leaf spectral signature as a tool for foliar pigment estimation displaying potential for species differentiation. *Journal of Plant Physiology*, 249: 153161. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2020.153161

Fedenko V.S. 2008. Cyanidin as endogenous chelator of metal ions in maize seedling roots. *Ukrainian Biochemical Journal*, 80(1): 102–106. [Феденко В.С. 2008. Ціанідин як ендогенний хелатор іонів металів у коренях проростків кукурудзи. *Український біохімічний журнал*, 80(1): 102–106.]

Fedenko V.S. 2022. Chemisorption of flavonoids from canadian goldenrod on aluminum oxide. *Journal of Chemistry and Technologies*, 30(3): 340–348. [Феденко В.С. 2022. Хемосорбція флавоноїдів золотушника канадського на оксиді алюмінію. *Journal of Chemistry and Technologies,* 30(3): 340–348.] https://doi.org/10.15421/jchemtech.v30i3.262972

Fedenko V.S. 2025a. Light absorption capacity of flowers of the invasive species *Ambrosia artemisiifolia* L. *Biota. Human. Technology*, 1: 28–38. [Феденко В. 2025. Світлопоглинальна здатність квіток інвазійного виду *Ambrosia artemisiifolia* L. *Biota. Human. Technology*, 1: 28–38.] https://doi.org/10.58407/bht.1.25.2

Fedenko V.S. 2025b. Flowers spectral characteristics of the invasive heliophyte species *Erigeron canadensis* L. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, 32: 134–415. [Феденко В.С. 2025. Спектральні характеристики квіток інвазійного виду-геліофіту *Erigeron canadensis* L. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія "Екологія"*, 32: 134–145.] https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-10

Fedenko V.S., Shemet S.A., Landi M. 2017. UV–vis spectroscopy and colorimetric models for detecting anthocyanin-metal complexes in plants: An overview of *in vitro* and *in vivo* techniques. *Journal of Plant Physiology*, 212: 13–28. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.02.001

Fedenko V.S., Shemet S.A., Guidi L., Landi M. 2020. Metal/metalloid-induced accumulation of phenolic compounds in plants. In: *Metal toxicity in higher plants*. Eds M. Landi, S.A. Shemet, V.S. Fedenko. New York: Nova Science Publishers, Inc., pp. 67–115.

Fourati R., Scopa A., Ahmed C.B., Abdallah F.B., Terzano R., Gattullo C.E., Allegretta I., Galgano F., Caruso M.C., Sofo A. 2017. Leaf biochemical responses and fruit oil quality parameters in olive plants subjected to airborne metal pollution. *Chemosphere*, 168: 514–522. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.11.041

Grujić S.M., Džamić A.M., Mitić V.D., Stankov-Jovanović V., Marin P.D., Stojanović G.S. 2017. Effects of solvent extraction system on antioxidant activity of *Lamium purpureum* L. *Hemijska Industrija*, 71(5): 361–370. https://doi.org/10.2298/HEMIND160518047G

Grujić S.M., Savković Ž.D., Ristić M.S., Džamić A.M., Grbić M.V.L., Vukojević J.B., Marin P.D. 2020. Glandular trichomes, essential oil composition, anti-Aspergillus and antioxidative activities of *Lamium purpureum* L. ethanolic extracts. *Archives of Biological Sciences*, 72(2): 253–263. https://doi.org/10.2298/ABS200117019G

Gupta R., Sharma R.D., Singh M. 2021. Energy dissipation and photosynthetic electron flow during the transition from juvenile red to mature green leaves in mango (*Mangifera indica* L.). *Plant Biosystems*, 155(4): 925–934. https://doi.org/10.1080/11263504.2020.1810807

Hlushchenko L.A., Kutsenko N.I. 2023. Problems with identification of medicinal plants and medicinal plant raw materials. *Journal of Native and Alien Plant Studies*, 19: 38–52. [Глущенко Л., Куценко Н. 2023. Проблеми ідентифікації лікарських рослин та лікарської рослинної сировини. *Journal of Native and Alien Plant Studies*, 19: 38–51.] https://doi.org/10.37555/2707-3114.19.2023.296366

Koski M.H., Leonard E., Tharayil N. 2024. Foliar flavonoids across an elevation gradient: Plasticity in response to UV, and links with floral pigmentation patterning. *Environmental and Experimental Botany*, 228: 106036. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2024.106036

Leja M., Mareczek A., Wyżgolik G., Klepacz-Baniak J., Czekońska K. 2007. Antioxidative properties of bee pollen in selected plant species. *Food Chemistry*, 100(1): 237–240. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.09.047

Lisovets O.I., Udzhmadzhuridze V.H. 2022. Structure and seasonal dynamics of the adventitious fraction of the flora of "Gagarin Park" (Dnipro). *Ecology and Noospherology*, 33(2): 61–67. https://doi.org/10.15421/032210

Lorenzo P., Morais M.C. 2023. Strategies for the management of aggressive invasive plant species. *Plants,* 12(13): 2482. https://doi.org/10.3390/plants12132482

Mashtaler O.V., Mikulich L.O., Sklyar Yu.B. 2024. Ontogenetic and vitality structures of cenopopulations of *Lamium* L. species in the conditions of Vinnytsia. *Ukrainian Journal of Natural Sciences,* 9: 37–45. [Машталер О.В., Мікуліч Л.О., Скляр Ю.Б. 2024. Онтогенетична та віталітетна структури ценопопуляцій видів роду *Lamium* L. в умовах м. Вінниця. *Український журнал природничих наук*, 9: 37–45.] https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.4

Matkowski A., Piotrowska M. 2006. Antioxidant and free radical scavenging activities of some medicinal plants from the *Lamiaceae*. *Fitoterapia*, 77(5): 346–353. https://doi.org/10.1016/j.fitote.2006.04.004

Melnyk M.V., Vodoslavskyi V.M. 2023. Quality rate determination of medicinal plant raw materials of the genus *Lamium* L. species of Western Ukraine. *Pharmaceutical Review*, (1): 4–11. https://doi.org/10.11603/2312-0967.2023.1.13665

Michaelian K. 2024. The pigment world: Life's origins as photon-dissipating pigments. *Life*, 14(7): 912. https://doi.org/10.3390/life14070912

Nakashima S., Yamakita E. 2023. *In situ* visible spectroscopic daily monitoring of senescence of japanese maple (*Acer palmatum*) leaves. *Life*, 13(10): 2030. https://doi.org/10.3390/life13102030

Ohta N., Robertson A. 2006. *Colorimetry: fundamentals and applications*. Chichester, Hoboken: J. Wiley, 352 pp.

Pavlyshak Y., Dankiv V. 2022. Analysis of the adventitious flora fraction of Drohobych District. *Ecological Sciences*, 4: 154–157. [Павлишак Я.Я., Даньків В.Я. 2022. Аналіз адвентивної фракції флори Дрогобицького району. *Екологічні науки*, 43(4): 154–157.] https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.25

Pescador-Dionisio S., Cendrero-Mateo M.P., Moncholí-Estornell A., Robles-Fort A., Arzac M.I., Renau-Morata B., Fernández-Marín B., García-Plazaola J.I., Molina R.V., Rausell C., Moreno J., Nebauer S.G., García-Robles I., Van Wittenberghe S. 2025. *In vivo* detection of spectral reflectance changes associated with regulated heat dissipation mechanisms complements fluorescence quantum efficiency in early stress diagnosis. *New Phytologist*, 245(2): 559–576. https://doi.org/10.1111/nph.20253

Protopopova V.V. 1991. *Synantropnaya flora Ukrayny y puty ee razvytyya*. Ed. D.N. Dobrochaeva. Kyiv: Naukova Dumka, 204 pp. [Протопопова В.В. 1991. *Синантропная флора Украины и пути ее развития*. Отв. ред. Д.Н. Доброчаева. Киев: Наукова думка, 204 с.]

Rodrigues R.F., Ferreira da Silva P., Shimizu K., Freitas A.A., Kovalenko S.A., Ernsting N.P., Quina F.H., Macanita A. 2009. Ultrafast internal conversion in a model anthocyanin–polyphenol complex: Implications for the biological role of anthocyanins in vegetative tissues of plants. *Chemistry–A European Journal*, 15(6): 1397–1402. https://doi.org/10.1002/chem.200801207

Sytar O., Zivcak M., Neugart S., Brestic M. 2020. Assessment of hyperspectral indicators related to the content of phenolic compounds and multispectral fluorescence records in chicory leaves exposed to various light environments. *Plant Physiology and Biochemistry*, 154: 429–438. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.06.027

Taniguchi M., LaRocca C.A., Bernat J.D., Lindsey J.S. 2023. Digital database of absorption spectra of diverse flavonoids enables structural comparisons and quantitative evaluations. *Journal of Natural Products*, 86(4): 1087–1119. https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.2c00720

Tichý L., Axmanová I., Dengler J., Guarino R., Jansen F., Midolo G., Nobis M.P., Van Meerbeek K., Aćić S., Attorre F., Bergmeier E., Biurrun I., Bonari G., Bruelheide H., Campos J.A., Čarni A., Chiarucci A., Ćuk M., Ćušterevska R., Didukh Y., Dítě D., Dítě Z., Dziuba T., Fanelli G., Fernández-Pascual E., Garbolino E., Gavilán R.G., Gégout J.-C., Graf U., Güler B., Hájek M., Hennekens S. M., Jandt U., Jašková A., Jiménez-Alfaro B., Julve P., Kambach S., Karger D.N., Karrer G., Kavgac A., Knollová I., Kuzemko, A., Küzmič, F., Landucci, F., Lengyel, A., Lenoir, J., Marcenò, C., Moeslund, J. E., Novák P., Pérez-Haase A., Peterka T., Pielech R., Pignatti A., Rašomavičius V., Rūsiņa S., Saatkamp A., Šilc U., Škvorc Ž., Theurillat

J.-P., Wohlgemuth T., Chytrý M. 2023. Ellenberg-type indicator values for European vascular plant species. *Journal of Vegetation Science*, 34(1): e13168. https://doi.org/10.1111/jvs.13168

Veretiuk U.V., Prokopiak M.Z., Holinei H.M., Herts N.V. 2023. Medicinal plants in the flora of Ternopil. *Scientific Issue Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series: Biology*, 83(1-2): 6–13. [Веретюк У.В., Прокоп'як М.З., Голінеї Г.М., Герц Н.В. 2023. Лікарські види рослин у флорі міста Тернополя. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія:* 83(1-2): 6–13.] https://doi.org/10.25128/2078-2357.23.1–2.1

Vergun O.M., Grygorieva O.V., Brindza J., Shymanska O.V., Rakhmetov D.B., Horčinová Sedlačková V., Korablova O.A., Fishchenko V.V., Ivanišová E. 2019. Content of phenolic compounds in plant raw of *Cichorium intubus* L., *Lamium purpureum* L. and *Viscum album* L. *Plant Introduction*, 83: 87–96. https://doi.org/10.5281/zenodo.3404149

Vrindts E., De Baerdemaeker J., Ramon H. 2002. Weed detection using canopy reflection. *Precision Agriculture*, 3: 63–80. https://doi.org/10.1023/A:1013326304427

Wan J., Huang B., Yu H., Peng S. 2019. Reassociation of an invasive plant with its specialist herbivore provides a test of the shifting defence hypothesis. *Journal of Ecology*, 107(1): 361–371. https://doi.org/10.1111/1365-2745.13019

Yu Z. C., Lin W., Zheng X.T., Chow W.S., Luo Y.N., Cai M.L., Peng C.L. 2021. The relationship between anthocyanin accumulation and photoprotection in young leaves of two dominant tree species in subtropical forests in different seasons. *Photosynthesis Research*, 149: 41–55. https://doi.org/10.1007/s11120-020-00781-4

Żbik K., Onopiuk A., Szpicer A., Kurek M. 2023. Comparison of the effects of extraction method and solvents on biological activities of phytochemicals from selected violet and blue pigmented flowers. *Journal of Food Measurement and Characterization,* 17(6): 6600–6608. https://doi.org/10.1007/s11694-023-02158-2

Anthocyanin pigmentation of tissues of vegetative organs of *Lamium purpureum* (*Lamiaceae*)

V.S. FEDENKO
Oles Honchar Dnipro National University,
72 Nauky Avenue, Dnipro 49045, Ukraine

Abstract. Among the specific features of plants, the phenomenon of purple pigmentation of tissues in vegetative organs in some species at early stages of development deserves attention. One of such species is the purple dead-nettle *Lamium purpureum*, a common species of alien plants in the flora of Ukraine. The pigment composition of the tissues in vegetative organs of *L. purpureum* has not yet been clarified. In this regard, the pigment composition in tissues of various vegetative organs of *L. purpureum* at early stages of development was first studied using a set of spectral methodological approaches (non-destructive solid-phase spectrophotometry, absorption spectroscopy of extracts, identification of the chelating ability of pigments). The specificity of pigmentation of the lowermost floral leaves, uppermost stem leaves below the verticillaster, and the highest part of the stem under the inflorescence is associated with the localization of flavonoids, anthocyanins, carotenoids, and chlorophylls in different ratios in the surface tissues. The purple color of tissues is due to the accumulation of anthocyanins, which are identified by the characteristic maximum in the reflectance spectra of tissues and the absorption spectra of extracts, colorimetric parameters, and chelating ability. The parameters of the differential reflectance spectra were determined as marker signs of the specific localization of anthocyanins in various plant tissues. The maximum accumulation of anthocyanins was registered in the surface tissues of floral leaves. The contrast in the perceived color was established by calculating the color difference between tissues. The proposed methodological approach can be used for identification of raw materials of the purple dead-nettle when obtaining biologically active preparations and non-destructive diagnostics of the pigment composition of plants.

Keywords: anthocyanins, colorimetry, *Lamium purpureum,* protective effect, reflectance characteristics

Peter Raven (1936–2026): The End of the Journey

Peter Hamilton Raven, a truly great botanist, biologist, ecologist, conservationist, environmentalist, and science educator of our time, a Member of the National Academy of Sciences of the US, a Foreign Member of the National Academy of Sciences of Ukraine and many other academies and societies, passed away on 25 April 2026. Came to the end his long and fascinating journey on this Planet of Life, the planet he deeply cared about and tried to protect. His spoken and written words came to many minds, his personal charm affected many people, his hands touched many plants, in nature, in the Garden, in herbaria, in laboratories...

Many people have already written many pages (both paper and web ones) about Peter Raven, his life, his science, his environmental activism. Should I copy-paste here some most important facts of his life journey, which a reader can anyway easily find already written in a Wiki or even by AI? No, I will tell here, briefly, my own short story, give you my own glimpses of memory, which nobody else can give you.

Peter Raven during his life left his special impact on life trajectories of many people. His circle of communication was really immense. He met and influenced many people: leaders of nations and religions (in particular, he was a key scientific adviser to the Pope through the Pontifical Academy of Sciences), government officials, NGO activists, business people, and, of course, scientists, researchers from all continents.

For me, my journey into international plant science started in St. Louis, Missouri, and I remember well that October of 1993, still warm, but slightly crisp-cool in the morning, bright with the flaming fall colors of red maples, orange sassafras, pure-yellow ginkgoes, the truly glorious season at the Missouri Botanical Garden. (Well, only much later I read those Thoreau's lines: "*Europeans coming to America are surprised by the brilliancy of our autumnal foliage. <...> October is the month of painted leaves...*"). Indeed surprised, so I started my six-month stay at MO, invited to prepare taxonomic treatments of some taxa for the *Flora of North America* (FNA) project, initially mostly Eurasian aliens in the Americas, like *Salsola* or (partly) *Corispermum*, but later many other groups, including *Amaranthus*, *Chenopodium*, *Dysphania*, *Rumex*… One of those October days, walking from the Trelease House to the MO Garden for the first time on my own, through the impressive but still homely and cozy Ridgeway Center (demolished in 2020 to be replaced with the new Jack C. Taylor Visitor Center), I, just by coincidence, saw Peter for the first time. He was talking to a group of some visitors. Of course, I recognized him, I have seen his



Peter Raven, 2010. Photo by Sergei Mosyakin

ISSN 2415-8860. *Ukrainian Botanical Journal*. 2026. 83 (2)

picture before, so I came to him and introduced myself, rather boldly but formally. To my surprise, he immediately engaged in a rather vivid communication, asked several questions, so we had a "small talk", with a couple of his friendly jokes, and then he wished me a nice stay at MO and waved his hand in the direction of the Lehmann Building and the FNA office in the Administration Building. After that first unexpected encounter, we met many times but I still remember well that October day and my first impression of this man, undoubtedly a distinguished and recognized scientist and a successful and influential science administrator who nevertheless possessed this ability of establishing friendly contacts and equal communication with strangers, people whom he has never met before.

Of course, it was finally his rather risky decision, following the recommendation of Nancy Morin, to invite to the FNA team a rather young and little known visiting botanist from Ukraine, a freshly independent country the very statehood of which by many Americans at that time was still perceived as some political curiosity. For me, it was a wonderful chance, the eye-opening opportunity to feel the touch of a truly global botany so well represented at the Missouri Botanical Garden at that time. I well remember my long day and night hours at the wonderfully rich and well organized MO Library (now proudly called the Peter H. Raven Library), among compactors of the MO herbarium, at the computer in the FNA basement. And of course, I will always remember all of you, members of the initial FNA team and other MO colleagues: Nancy, Allan, Peter, George, Bruce, Yevonn, Keats, Debbie, Frank, and many, many others. I also remember the atmosphere of friendliness, trust, and freedom, which was dominant at MO during the directorship and presidency of Peter Raven. Of course, I knew from occasional talks of the colleagues that Raven was sometimes a demanding leader, a harsh administrator, and a formidable opponent in some scientific or administrative issues. But first of all – he was a true visionary who steered the huge botanical Leviathan of the Garden in the proper direction to its planned destinations and achievements, who shared the resources and experience of the Garden with hundreds of colleagues and partners around the Globe. During my visits to MO I met people from Australia, China, Madagascar, many countries of Latin America, Africa, and Europe, and I am sure that their visits to MO also contributed to their new scientific knowledge, profound human experience, and unforgettable memories.

After that first meeting, we met many times, at the MO Garden during my periodical visits, at the International Botanical Congresses in St. Louis (1999) and Vienna (2005), on some other occasions. To a great extent due to the recommendations and encouragement of Peter Raven and several Kew colleagues our Institute and its National Herbarium of Ukraine (KW) received the important support from The Andrew W. Mellon Foundation and we joined the international projects of digitization of herbarium specimens, first the African Plants Initiative and finally the Global Plants Initiative. Peter also often shared with Ukrainian partners the grant opportunities and was always interested in the development of science in Ukraine and general news from our country.

Peter Raven was deeply shocked by the ruscist aggression against Ukraine, which was evident from his email messages. On 14 March 2014, when the hybrid war started and the annexation of Crimea was underway, Peter wrote:

"Dear Sergei,

We are distressed to read the reports about the situation of your country, and afraid of what may happen next. It has become a global mess of the greatest proportions, but of course unbearable for those like you who are in the middle of it. I guess we didn't imagine such a thing happening and yet here it is. We are with you, we are thinking of you, and wish there were something we could do to help."

Already on 27 February 2022 he reacted to the full-scale invasion with these words:

"We keep thinking of you and our colleagues there and praying for the best possible outcome. It is so awful and unwarranted."

On 8 March 2022 he added, being worried about the wartime threats to KW collections and the safety of people of our Institute:

"We are thinking of you every day, still largely kept inside by what appear to be the last days of Covid-19, or so we hope. The brave approach that you and your colleagues have held in the face of this completely unjustified invasion is an inspiration throughout the world. <…> From a narrow scientific point of view (in the midst of the awful human disaster that is unfolding) we certainly hope that you will be able to save your wonderful collections there.

Very best wishes from Pat and me, and congratulations on the inspiration that you are giving us all…"

During the recent years I periodically communicated with Peter Raven by email and, in particular, we exchanged messages during 2020–2025, when we, among other things (including, by the way, such specific botanical issues as rather complicated and "esoteric" details of nomenclature of New Zealand taxa of *Epilobium*), discussed various issues related to our National Herbarium of Ukraine (KW). He gave me some good ideas regarding our important Neotropical and North American collections, specifically those of Thomas Nuttall. That was the immediate reason why in the summer of 2025 I invited him to join as a co-author our article about KW ("Hidden herbarium treasures in a wartime Kyiv: an appeal for international collaboration, digital preservation, and support", to be published in *Taxon*), in which I used our joint considerations on Nuttall's collection at KW, as well as some general approaches. He immediately agreed (his messages of 4 and 26 August 2025, respectively):

"Of course I agree, and have copied a number of others informing them about the situation."

"*I'll be glad to add my signature to this article in whatever capacity you'd prefer, and to help in the proper dissemination of the material in any way you might find helpful!*"

At the end of August 2025 Peter was able to read the final draft before its submission to *Taxon* and accepted that manuscript.

Here is an excerpt from the last email message sent by Peter Raven to me in January 2026:

"Dear Sergei,

Thanks for the lovely images of Kyiv, which demonstrate so clearly the importance symbolically of what Ukrainians are fighting to preserve! We continue to support you, and hope that [*for*] *an equitable solution to the grinding conflict that has already drained many lives and a huge quantity of other resources from your beautiful land...*"

In 2016, when Peter Raven celebrated his 80th Anniversary, the *Ukrainian Botanical Journal* published his message to Ukrainian colleagues. He cited in that message the lines from a poem by Mykhailo Dolengo (probably much better known to us as Mykhailo Klokov, a famous Ukrainian botanist), which I translated for him into English:

"…With all your efforts, small or large,
You climb to somewhat higher levels,
Giving your work for people to judge.
…And have to start again your travels.
Ways up are harder… but perhaps
My long work hours serve me as steps."

Peter Raven has climbed to his ultimate summit. The end of a glorious life journey…

Sergei MOSYAKIN