

ISSN 0026-3648

Том 57, Номер 6

Ноябрь - Декабрь 2023



МИКОЛОГИЯ И ФИТОПАТОЛОГИЯ



www.sciencejournals.ru



СОДЕРЖАНИЕ

Том 57, номер 6, 2023

БИОРАЗНООБРАЗИЕ, СИСТЕМАТИКА, ЭКОЛОГИЯ

- Филогения *Trichia brunnea* и новое название в роде *Arcyria* (*Trichiales*, *Mухомycetes*)
А. В. Власенко, Ю. К. Новожилов, А. А. Бондарь, В. А. Власенко 385
- Sidera tibetica* (*Hymenochaetales*, *Basidiomycota*) – новый для России вид
С. В. Волобуев 394
- Новые сведения об агарикоидных базидиомицетах национального парка “Шантарские острова” (Хабаровский край, Россия)
Е. А. Ерофеева, Е. М. Булах, Н. А. Кочунова 401
- Новые данные о распространении *Pleurotus abieticola* (*Agaricales*, *Basidiomycota*) на территории России
М. А. Паламарчук, Д. В. Кириллов, Д. М. Шадрин 409
- Новые для Свердловской области (Средний Урал, Россия) виды грибов на чужеродных и местных видах древесных растений
А. Г. Ширяев, Т. С. Булгаков, И. В. Змитрович, О. С. Ширяева, А. С. Будимиров, В. А. Дудка 417
-

ФИЗИОЛОГИЯ, БИОХИМИЯ, БИОТЕХНОЛОГИЯ

- Внеклеточная детоксикация цинка грибами *Penicillium chrysogenum* и *Aspergillus niger*
К. В. Сазанова, М. С. Зеленская, А. В. Корнеев, Д. Ю. Власов 425
-

ГРИБЫ – ВОЗБУДИТЕЛИ БОЛЕЗНЕЙ РАСТЕНИЙ

- Характеристика северо-западной популяции *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* по признаку вирулентности и представленности инвазивных рас *PstS1* и *PstS2*
Е. Л. Шайдаюк, Е. И. Гуляева 435
-

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

- Шесть новых для Памиро-Алая видов *Agaricomycetes* (в пределах Узбекистана)
З. Ш. Исломиддинов, И. М. Мустафаев, С. В. Волобуев, А. Умар, Б. С. Хабибуллаев, Ю. В. Лим 447
- Видовое разнообразие миксомицетов национального парка “Нижняя Кама” и прилегающих территорий в ранний осенний период
Р. Э. Садыков, К. О. Потапов, Ю. А. Лукьянова, Ю. Р. Садыкова 451
- Результаты микологического обследования побеговой системы “Ириновского дуба” (Ленинградская область, Россия)
А. Б. Шишлянникова, И. В. Змитрович, Г. И. Зарудная, В. В. Перелыгин, М. В. Жариков 456
-

ХРОНИКА

- Памяти Зинаиды Афанасьевны Демидовой (1894–1985)
А. Г. Ширяев, О. С. Ширяева, И. В. Змитрович, Н. Г. Ерохин 462
-
-

Contents

Vol. 57, No. 6, 2023

BIODIVERSITY, TAXONOMY, ECOLOGY

- Phylogeny of *Trichia brunnea* and new names in the genus *Arcyria* (*Trichiales*, *Myxomycetes*)
A. V. Vlasenko, Yu. K. Novozhilov, A. A. Bondar, V. A. Vlasenko 385
- Sidera tibetica* (*Hymenochaetales*, *Basidiomycota*), a new species to Russia
S. V. Volobuev 394
- New data on agaricoid basidiomycetes of the Shantar Islands National Park (Khabarovsk Territory, Russia)
E. A. Erofeeva, E. M. Bulakh, N. A. Kochunova 401
- New data on distribution of *Pleurotus abieticola* (*Pleurotaceae*, *Agaricales*, *Basidiomycota*) in Russia
M. A. Palamarchuk, D. V. Kirillov, D. M. Shadrin 409
- New species of fungi for Sverdlovsk Region (the Middle Urals, Russia) on alien and aborigine woody plants
A. G. Shiryayev, T. S. Bulgakov, I. V. Zmitrovich, O. S. Shiryayeva, A. S. Budimirov, V. A. Dudka 417
-

PHYSIOLOGY, BIOCHEMISTRY, BIOTECHNOLOGY

- Extracellular Zn detoxication by *Penicillium chrysogenum* and *Aspergillus niger*
K. V. Sazanova, M. S. Zelenskaya, A. V. Korneev, D. Yu. Vlasov 425
-

PHYTOPATHOGENIC FUNGI

- Characterization of the northwestern population of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* on the basis of virulence and representation of invasive *PstS1* and *PstS2* races
E. L. Shaydayuk, E. I. Gulyayeva 435
-

SHORT COMMUNICATIONS

- Six species of *Agaricomycetes*, new to the Pamir-Alay Mountains (Uzbekistan part)
Z. Sh. Islomiddinov, I. M. Mustafaev, S. V. Volobuev, A. Umar, B. S. Khabibullaev, Y. W. Lim 447
- Species diversity of myxomycetes of the “Nizhnyaya Kama” National Park and adjacent territories in the early autumn period
R. Sadykov, K. Potapov, Yu. Lukyanova, Yu. Sadykova 451
- Results of the mycological investigation of the shoot system of “Irinovsky Oak” tree (Leningrad Region, Russia)
A. B. Shishlyannikova, I. V. Zmitrovich, G. I. Zarudnaya, V. V. Perelygin, M. V. Zharikov 456
-

CHRONICLE

- In Memoriam. Zinaida Afanasyevna Demidova (1894–1985)
A. G. Shiryayev, O. S. Shiryayeva, I. V. Zmitrovich, N. G. Erokhin 462
-
-

УДК 582.24 (57.063)

PHYLOGENY OF *TRICHIA BRUNNEA* AND NEW NAMES IN THE GENUS *ARCYRIA* (*TRICHIALES*, *MYXOMYCETES*)

© 2023 г. A. V. Vlasenko^{1,*}, Yu. K. Novozhilov^{2,**}, A. A. Bondar^{3,***}, and V. A. Vlasenko^{1,****}¹Central Siberian Botanical Garden of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 630090 Novosibirsk, Russia²Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, 197376 St. Petersburg, Russia³Institute of Chemical Biology and Fundamental Medicine of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 630090 Novosibirsk, Russia

*e-mail: anastasiamix81@mail.ru

**e-mail: yurynovozh1lov@yandex.ru

***e-mail: ibp@ibp.ru

****e-mail: vlasenkomyces@mail.ru

Received June 25, 2023; Revised July 25, 2023; Accepted July 31, 2023

Recent phylogenetic studies indicate taxonomic uncertainty of some species in the genera *Arcyria* (*Arcyriaceae*) and *Trichia* (*Trichiaceae*). For example, a phylogenetic position of *Trichia brunnea* still is not resolved. We revised a taxonomic position of this species based on extensively sampled *18S nrDNA* sequences, as well as a morphological analysis of sporocarps and spores. The nomenclatural history of *T. brunnea* is briefly presented and a comprehensive morphological description of the species is provided. In result, we support the transfer of *T. brunnea* to *Arcyria*. Because of the name *Arcyria brunnea* exists already, we propose a new name, *A. brunneo-iridescens* (= *Trichia brunnea*).

Keywords: *Amoebozoa*, *Arcyria*, distribution, *Myxogastria*, myxomycetes, taxonomy, *Trichia*, *18S nrDNA*

DOI: 10.31857/S0026364823060144, **EDN:** ICWLOV

INTRODUCTION

Arcyria F.H. Wigg. is a widely distributed genus of *Arcyriaceae* with 55 species currently accepted (Lado, 2005–2023). The genus traditionally can be recognized by its capillitium hollow threads, consisting of cogs, reticula, rings, spines, and verrucae, whereas species of the family *Trichiaceae* have the capillitium ornamented by spirals (Martin, Alexopoulos, 1969). However, the phylogenetic analysis shows that the spiral ornamentation of the capillitium seems to have originated independently in multiple clades of myxomycetes (Fiore-Donno et al., 2013) and most genera of *Trichiales* are paraphyletic (Walker et al., 2015; Leontyev et al., 2019; Ronikier et al., 2020). In the last phylogenetic study of *Trichiales* (García-Cunchillos et al., 2022) proposed taxonomic amendments for some taxa to reflect both the phylogenetic affinities and the evolution of the morphological traits. However, some rare species, for example *Trichia brunnea*, were not studied and a phylogenetic position of this species still is not resolved.

T. brunnea was described by Cox in 1981 from sporangia developed on specimens of weathered cow dung in moist chamber culture and collected in California, United States (Cox, 1981). In addition to the type locality this species known in Austria (*Trichia brunnea*, 2023a), Denmark (*Trichia brunnea*, 2023b), Montenegro, Norway (Eliasson et al., 1991), Russia: arid re-

gions of the Lower Volga River Basin (Novozhilov et al., 2006) and Altay Territory, border of the Pre-Altai Plain and the spurs of the northwestern ridges of the Altai Mountains (Vlasenko et al., 2017). We also found *T. brunnea* in 2018 in Altay Territory and in 2020 and 2021 in the Republic of Tyva and the Republic of Sakha (Yakutia). Everywhere this species is rare and sporadically isolated in moist chamber cultures.

To clarify the taxonomical position of *T. brunnea* we used a *18S nrDNA* gene phylogeny as well as detailed morphological description based on light and scanning electron microscopy of our collections.

MATERIALS AND METHODS

Sampling, moist chamber cultures and morphological analyses. The sporocarps of *T. brunnea* for this work were obtained in moist chamber cultures using glass Petri dishes (10 cm diam.) lined with filter paper as described by literature (Gilbert, Martin, 1933; Härkönen, 1977). In this study we used a modified cultivation method (Vlasenko, Vlasenko, 2020); the duration of cultivation of epiphytic species has been increased to 3–6 months. Moist chamber were examined for the presence of myxomycetes under high magnification with a dissecting microscope. The collections upon which the molecular analysis and morphological de-

scription is based were studied with a Carl Zeiss Stemi DV4 stereomicroscope and a Carl Zeiss Axiolab A compound microscope. Scanning electron micrographs were obtained with a Carl Zeiss EVO MA 10 scanning electron microscope (SEM) in CSBG SB RAS. Specimens mounted on aluminum stubs via double-sided sticky film and sputter-coated with gold. The examined specimens have been deposited in the M.G. Popov Herbarium, USU 440537, Novosibirsk (NSK). The nomenclature used corresponds to Lado (2005–2023).

DNA extraction and sequencing. To extract DNA, sporophore fragments were crushed using aluminum oxide (Al_2O_3). Then they were homogenized in a buffer for lysis of Phyto-Sorb kit (Synthol, Moscow). The *18S* (*SSU*) nrDNA regions were amplified with standard primers for bright-spored myxomycetes SFATri and SR4Bright (Fiore-Donno et al., 2013). The HS Taq DNA Polymerase (Eurogen, Moscow) was used. PCR load (50 μL): 35.25 μL PCR-grade water, 5 μL 10X Taq PCR Reaction Buffer (Eurogen, Moscow), 2.5 μL 50 mM MgCl_2 (Eurogen, Moscow), 0.5 μL 20 μM each dNTPs (Eurogen, Moscow), 1 μL 10 ng/ μL each primer (Biosset, Novosibirsk), 0.75 μL 5 u/ μL SNPdetect HS Taq DNA Polymerase (Eurogen, Moscow) and 4 μL 10 ng/ μL DNA, adjusted with ddH₂O. PCR cycling conditions were as follows: denaturation for 5 min at 94°C, followed by 36 cycles (15 s at 94°C, 15 s at 50°C, 1 min at 72°C) and a final elongation for 7 min at 72°C. PCR products were sequenced using Big Dye terminator cycle sequence kit (ABI) and ABI Prism 3130 sequencer (Perkin-Elmer, USA) at SB RAS Genomics Core Facilities (ICBFM SB RAS, Novosibirsk, Russia). All the sequences generated in the study are deposited in GenBank (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank>).

Phylogenetic analysis. Sequenograms of *T. brunnea* were analysed in Chromas version 2.6.6 (<http://technelysium.com.au/wp/chromas/>). We generated the sequences for *T. brunnea* partial *18S* regions of nrDNA (the first ca. 580 nucleotides). New sequences were compared with the available data in GenBank using the Nucleotide BLAST tool (Altschul et al., 1990). Based on the BLAST search, was incorporated additional *18S* sequences of other related species into the analyses. The final dataset included 57 *18S* sequences, respectively. *Dianema subretisporum* Kowalski, *Dianema depressum* (Lister) Lister, *Tubifera ferruginosa* (Batsch) J.F. Gmel., and *Reticularia lycoperdon* Bull. was used as an outgroup (García-Cunchillos et al., 2022). Table 1 provides an overview of the taxa we used, information on the herbarium specimens, GenBank accession numbers and references. Sequences were aligned online in MAFFT (Katoh et al., 2002), version 7 (Katoh, Sandley, 2013) using the E-INS-I strategy (Katoh, Toh, 2008). MEGA X software (Kumar et al., 2018) was used for statistical analysis of nucleotide datasets. The phylogenetic relationships were reconstructed using the Maximum Likelihood (ML) method (Felsenstein, 1981). Phylogenetic trees were constructed in the online version program of IQ-TREE (Trifinopoulos

et al., 2016) of IQ-TREE software (Nguyen et al., 2015). Nonparametric bootstrapping with 1000 replicates as statistical used support in this analysis. The phylogenetic trees were visualized in Fig Tree version 1.4.4 (Rambaut, 2018).

RESULTS

Phylogenetic analysis

A preliminary blast analysis of the *18S* (*SSU*) nrDNA region showed that the sequences of *Trichia brunnea* had the maximum homology with the species of the *Arcyria* genus.

The ML analysis of the *18S* nrDNA gene showed that *Trichia brunnea* is closest to *Arcyodes incarnata* (Alb. et Schwein.) O.F. Cook [= *Arcyria congesta* (Sommerf.) Berk. et Broome]. The genetic distance of the “*Trichia brunnea*” branch on the *SSU* tree is 0.168, with 98% bootstrap support (Fig. 1).

An analysis of the molecular phylogeny of the order *Trichiiales* shows that the family *Arcyriaceae* is divided into two groups of species (García-Cunchillos et al., 2022). *Arcyriaceae* s.str. includes the species *Arcyria affinis*, *A. denudata*, *A. imperialis*, *A. incarnata*, *A. minuta*, *A. stipata*.

Our study showed that the clade to which *Trichia brunnea* belongs also includes the species *Arcyodes incarnata* and *Arcyria affinis*. Species *A. denudata* (L.) Wettst. is the type for the genus *Arcyria* Hill ex F.H. Wigg. Thus, *Trichia brunnea* has no phylogenetic relationship with species of the *Trichiaceae* family and belongs to the *Arcyriaceae* family.

In result, we support the transfer of *T. brunnea* to the genus *Arcyria*. The name *Arcyria brunnea* Nann.-Bremek. et Y. Yamam., 1986 has been already used and this name is a synonym of *A. incarnata* (Pers. ex J.F. Gmel.) Pers. (1796) [= *A. incarnata* f. *brunnea* (Nann.-Bremek. et Y. Yamam.) Y. Yamam., 1998], so we propose here a new species epithet.

Taxonomy

Arcyria brunneoiridescens A. Vlasenko, Novozh. et V. Vlasenko nom. nov. (Figs 2–4).

Mycobank No: MB849577.

= *Trichia brunnea* J.J. Cox, Mycologia 73 (4): 741, 1981.

Etymology: Refers to the color of the peridium.

Description: Sporangia stalked, sometimes sessile, on a narrowed base, gregarious, often overlap each other, or fused with each other, resulting in the formation of pseudoethalia, individual sporangia oval, ovoid, irregular, brilliant brown, iridescent, 0.3–0.5 mm wide, 0.5–1 mm tall. Stalk thin, straight, curved, rugose, yellow-brown, up to half the total height of sporangium, sometimes short, like a continuation of the hypothallus, olive-brown in transmitted light, always filled with spore-like cells 11.5–20.5 μm diam. Peridium single-

Table 1. The sequences used for the alignment

Species	Herbarium voucher/isolate; GenBank accession numbers; references
<i>Cornuvia serpula</i>	MM29198; JX481285; Fiore-Donno et al. (2013)
<i>Gulielmina megaspora</i>	MA: Fungi: 82123; MT154026; García-Cunchillos et al. (2022)
<i>G. vermicularis</i>	MA80426; ON713363; García-Cunchillos et al. (2022)
<i>Hemitrichia abietina</i>	MA58838; ON713338; García-Cunchillos et al. (2022)
<i>H. calyculata</i>	MA81807; ON713370; García-Cunchillos et al. (2022)
<i>H. clavata</i>	MA62018; ON713344; García-Cunchillos et al. (2022)
<i>H. crassifila</i>	MA: Fungi: 91885; MT154031; Ronikier et al. (2020)
<i>H. decipiens</i>	MA83070; ON713379; García-Cunchillos et al. (2022)
<i>H. intorta</i>	KR0022295; MT154021; Ronikier et al. (2020)
<i>H. lutescens</i>	MA83430; ON713391; García-Cunchillos et al. (2022)
<i>H. minor</i>	MA80197; ON713361; García-Cunchillos et al. (2022)
<i>H. pardina</i>	MA80413; ON71336; García-Cunchillos et al. (2022)
<i>H. serpula</i>	NSK 1031916; ON863805; the current study
“ ”	NSK 1030527; OP725706; the current study
<i>Metatrichia floriformis</i>	MA83204; ON713382; García-Cunchillos et al. (2022)
<i>M. floripara</i>	Lado25103; ON713324; García-Cunchillos et al. (2022)
<i>M. horrida</i>	MA81778; ON713369; García-Cunchillos et al. (2022)
<i>M. vesparium</i>	MA51719; ON713334; García-Cunchillos et al. (2022)
<i>Oligonema affine</i>	MA78975; ON713357; García-Cunchillos et al. (2022)
<i>O. flavidum</i>	DWM5764; JX481304; Fiore-Donno et al. (2013)
<i>O. favogineum</i>	MA83229; ON713383; García-Cunchillos et al. (2022)
<i>O. persimile</i>	–/AY643826; Fiore-Donno et al. (2005)
<i>O. schweinitzii</i>	MA85559; ON713399; García-Cunchillos et al. (2022)
<i>O. verrucosum</i>	MA83489; ON713394; García-Cunchillos et al. (2022)
<i>Ophiotheca calongei</i>	MA78692; ON713353; García-Cunchillos et al. (2022)
<i>O. chrysosperma</i>	MA63754; ON713345; García-Cunchillos et al. (2022)
<i>O. pedata</i>	MA81941; ON713372; García-Cunchillos et al. (2022)
<i>Perichaena agaves</i>	MA50703; ON713332; García-Cunchillos et al. (2022)
<i>P. corticalis</i>	AMFD157; JX481306; Fiore-Donno et al. (2013)
<i>P. depressa</i>	NSK 1031856; ON863804; the current study
<i>P. dictyonema</i>	MA59057; ON713340; García-Cunchillos et al. (2022)
<i>P. liceoides</i>	M0073211; ON713328; García-Cunchillos et al. (2022)
<i>P. longipes</i>	LMW-2015; KP241120; Walker et al. (2015)
<i>P. luteola</i>	DWM4984; JX481308; Fiore-Donno et al. (2013)
<i>P. nigra</i>	MA86774; ON713402; García-Cunchillos et al. (2022)
<i>P. quadrata</i>	MA88310; ON713407; García-Cunchillos et al. (2022)
<i>P. stipitata</i>	MA79150; ON713358; García-Cunchillos et al. (2022)
<i>Trichia alpina</i>	MA80534; ON713364; García-Cunchillos et al. (2022)
<i>T. brunnea</i>	NSK 1016772; OR287437; the current study
“ ”	NSK 1030490; OR287438; the current study
“ ”	NSK 1031862; OR287439; the current study
“ ”	NSK 1016771; OR287440; the current study
“ ”	NSK 1016774; OR287441; the current study
“ ”	NSK 1016773; OR287442; the current study
<i>T. contorta</i>	sc22513; KT358722; Feng, Schnittler (2017)

Table 1. (Contd.)

Species	Herbarium voucher/isolate; GenBank accession numbers; references
<i>T. erecta</i>	sc22424; KT358724; Feng, Schnittler (2017)
<i>T. scabra</i>	MA90224; ON713410; García-Cunchillos et al. (2022)
<i>T. sordida</i>	AMFD 81; EF513182; Fiore-Donno et al. (2010)
<i>T. varia</i>	NSK 1016006; OP725705; the current study
<i>Tubifera ferruginosa</i>	AMFD 196; EF513171; Fiore-Donno et al. (2010)

layered, membranous, translucent, with iridescent tint, with crack lines in the apical part of the sporotheca, after dehiscence remains in the form of a deep cup at the base. In the SEM, the inner surface of the peridium is ornamented with warts, often in groups; the outer sur-

face of the peridium is ornamented with folds and lines. Capillitium olive, light brown, composed of simple or slightly branched elaters of various lengths. Elaters are ornamented with spiral thickenings and warts, about 2–3.5 µm diam., sometimes almost smooth. Elaters

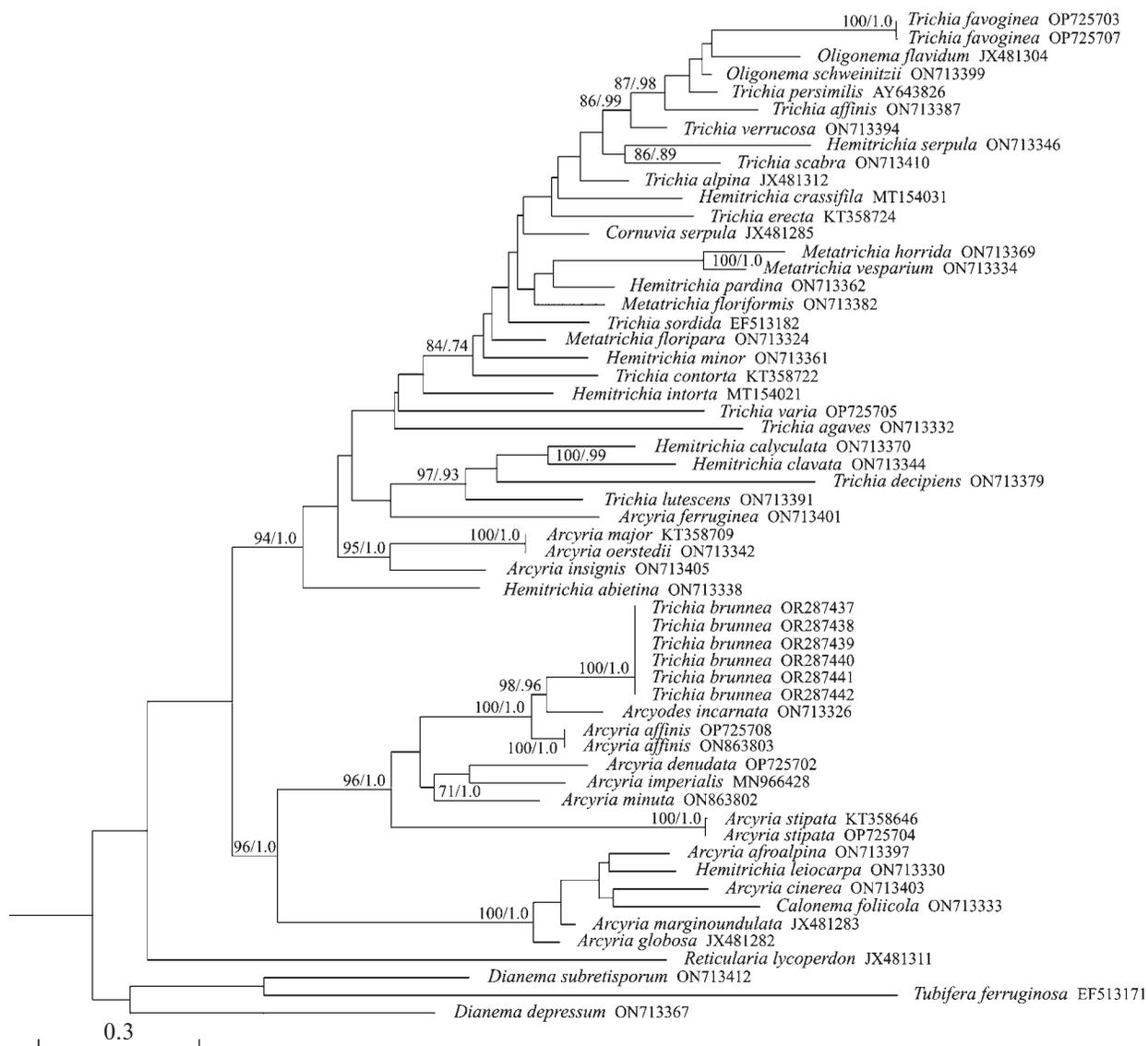


Fig. 1. The maximum likelihood tree based on *18S nrDNA* sequences shows the phylogenetic relationships between the *Trichia brunnea* and other closely related species of bright-spored myxomycetes. BS values with high support and Bayesian posterior probabilities are shown in the branches. GenBank accession numbers are given after the species name.

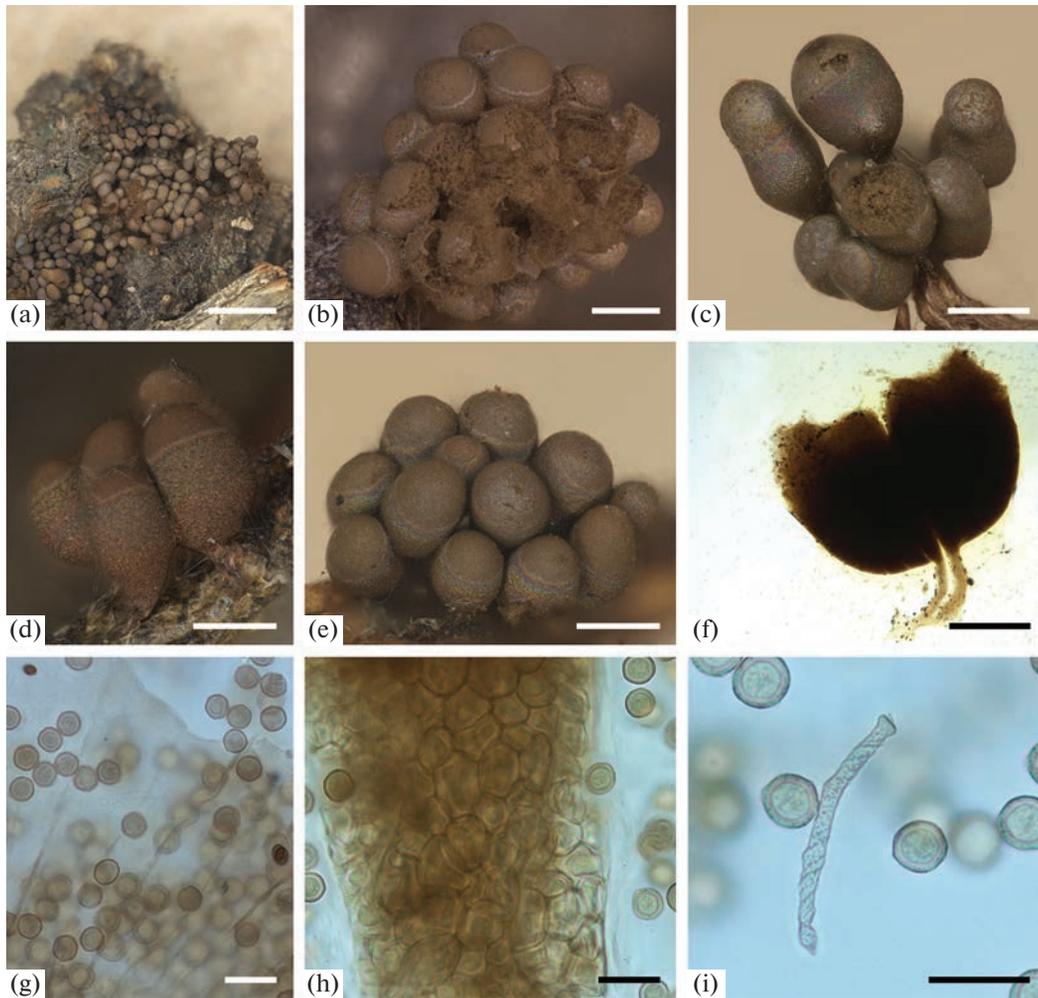


Fig. 2. *Arcyria brunneoiridescens*: a–f – sporangia (NSK 1031970, NSK 1031862, NSK 1016774, NSK 1016781, NSK 1030490, NSK 1016771), g – peridium and spores (NSK 1030490); h – spore-like bodies in the stalk (NSK 1030490); i – spores and capillitial thread (NSK 1030490). Scale – 2 mm (a), 0.5 mm (b–e), 200 μ m (f), 20 μ m (g–i).

have a different shape of endings within the same colony of sporangia: pointed or with a blunt ending up to 5 μ m in diameter, or forked. Spore mass brown. Spores olive, light brown in transmitted light, verrucose, 8.6–11 μ m diam. In SEM, spore ornamentation consists of large warts, between which small warts are scattered, sometimes the surface of the spore is covered only with large warts.

Type: United States, California, Modoc County, Canby, 1314 m, on cow dung, 17.09.1978, J.J. Cox, JJC 570 (holotype).

Specimens examined: Russia, Altai Territory, Zmeinogorsky District, Tigiretsky Ridge, stony screes, 51.0445° N, 82.9666° E, 1469 m, on dry dead leaves and at the base of lignified shoots of live *Goniolimon speciosum* (L.) Boiss., substrate samples coll. 29.06.2018, V.A. Vlasenko, moist chamber culture 12.01.2020, cult. and ident. A.V. Vlasenko, NSK 1016782; *ibid.*, on dry dead leaves and at the base of lignified shoots of live *G. speciosum*, substrate samples coll. 29.06.2018, V.A. Vlasenko, moist chamber culture 14.02.2020, cult. and ident. A.V. Vlasenko, NSK 1016772,

GenBank No: OR287437 (*18S nrDNA*); *ibid.*, border of sub-alpine meadow and stony screes, 51.0441° N, 82.9670° E, 1462 m, on dry dead leaves and at the base of lignified shoots of live *G. speciosum*, substrate samples coll. 29.06.2018, V.A. Vlasenko, moist chamber culture 24.04.2020, cult. and ident. A.V. Vlasenko, NSK 1016773, GenBank No: OR287442 (*18S nrDNA*); *ibid.*, on dry dead leaves and at the base of lignified shoots of live *G. speciosum*, substrate samples coll. 29.06.2018, V.A. Vlasenko, moist chamber culture 20.06.2020, cult. and ident. A.V. Vlasenko, NSK 1030490, GenBank No: OR287438 (*18S nrDNA*); Kuryinsky District, 51.7763° N, 82.3311° E, 348 m, on dry dead leaves and at the base of lignified shoots of live *Rumex confertus* Willd., substrate samples coll. 12.07.2015, V.A. Vlasenko, moist chamber culture 29.09.2021, cult. and ident. A.V. Vlasenko, NSK 1016771, GenBank No: OR287440 (*18S nrDNA*); Republic of Tyva, Kyzylsky district, 26 km northeast of the village of Cherby, 51.9252° N, 94.9766° E, 1092 m, valley dark coniferous forest, on the bark of live *Picea obovata* Ledeb., substrate samples coll. 10.08.2020, A.V. Vlasenko, moist chamber culture 15.01.2021, cult. and ident. A.V. Vlasenko, NSK 1016774, GenBank No: OR287441 (*18S nrDNA*); *ibid.*, Tandinsky

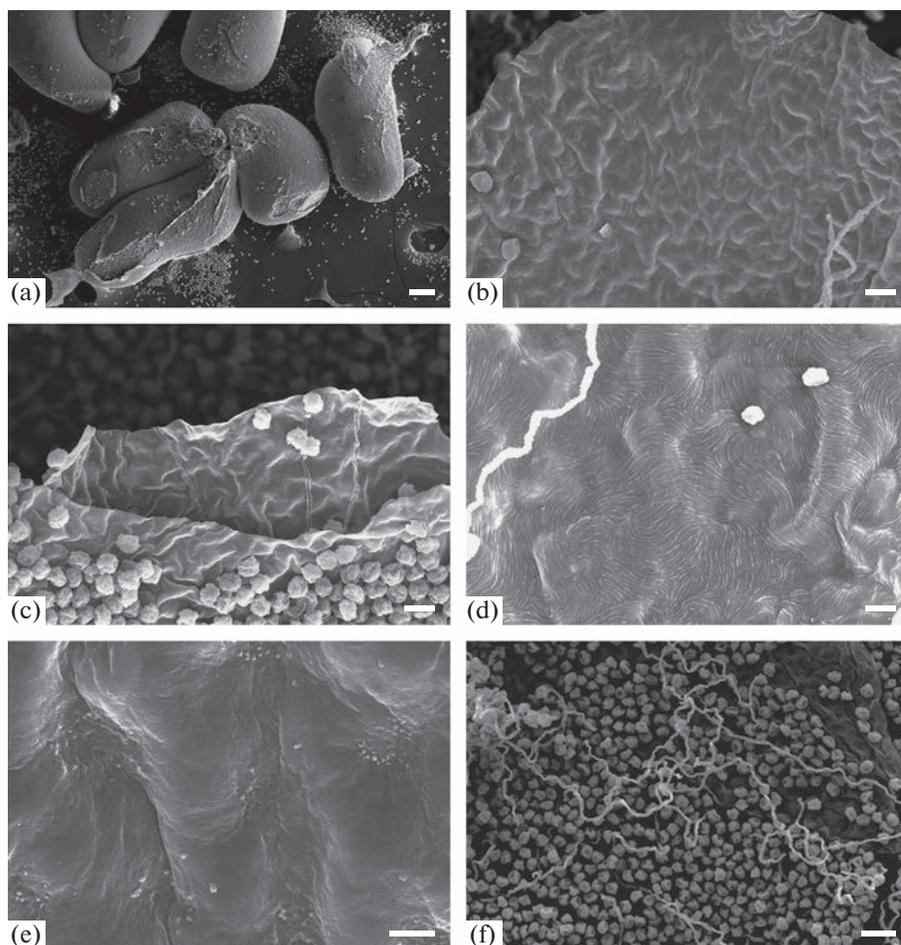


Fig. 3. *Arcyria brunneoiridescens* (SEM): a – sporangia (NSK 1016774); b – inner surface of peridium, capillitial threads, spores (NSK 1016774); c – inner surface of peridium, spores (NSK 1016781); d – inner surface of peridium, capillitial threads, spores (NSK 1016771); e – inner surface of peridium (NSK 1016774); f – capillitial threads, spores (NSK 1030490). Scale – 100 μm (a), 20 μm (f), 10 μm (b–d), 2 μm (e).

district, Yenisei highway, 50.8715° N, 95.1988° E, 953 m, light coniferous forest, on the bark of live *Larix sibirica* Ledeb., substrate samples coll. 12.07.2021, A.V. Vlasenko, moist chamber culture 13.01.2022, cult. and ident. A.V. Vlasenko, NSK 1031952; NSK 1031862, GenBank No: OR287441 (OR287439); NSK 1016791; *ibid.*, on the bark of live *L. sibirica*, substrate samples coll. 12.07.2021, A.V. Vlasenko, moist chamber culture 18.01.2022, cult. and ident. A.V. Vlasenko, NSK 1031977; *ibid.*, on the bark of live *Betula pendula* Roth, substrate samples coll. 12.07.2021, A.V. Vlasenko, moist chamber culture 18.01.2022, cult. and ident. A.V. Vlasenko, NSK 1031960, NSK 1031970; Republic of Sakha (Yakutia), near city of Yakutsk, larch forest, on the bark of live *Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen., moist chamber culture 13.01.2022, cult. and ident. A.V. Vlasenko, NSK 1016781.

DISCUSSION

According to the original description, *Trichia brunnea* is characterized by brown sporangia on stalks or sessile on restricted base, clustered in small groups, the peridium single, membranous, the capillitium elaters are smooth with spiral thickenings, with slightly swol-

len tips, the spores are olive, 10–11 μm diam. with thick spore wall, ornamented with small warts.

Our specimens are presented by ovoid or irregular shape sporangia, which form crowded colonies with partial loss of individuality by individual sporangia and spiral ornamentation of capillitial threads resembles those of *Arcyria stipata* (Schwein.) Lister and *A. imperialis* Q. Wang et Yu Li.

A. imperialis originally described in the genus *Hemitrichia* as *Hemitrichia imperialis* G. Lister; later, was transferred to the genus *Arcyria* based on morphological features. Further, we confirmed in an *18S nrDNA* phylogeny that *Hemitrichia imperialis* should indeed be included in the genus *Arcyria* (Vlasenko et al., 2020).

Hollow transparent stalks filled with spore-like cells are a characteristic feature for members of the genus *Arcyria* (Poulain et al., 2011). In all our specimens of *Trichia brunnea*, spore-like cells are also present in the stalk. As for the spiral capillitial ornamentation, this morphological pattern appears not only in the genus *Trichia* but also in the phylogenetic clade of *Arcyria*

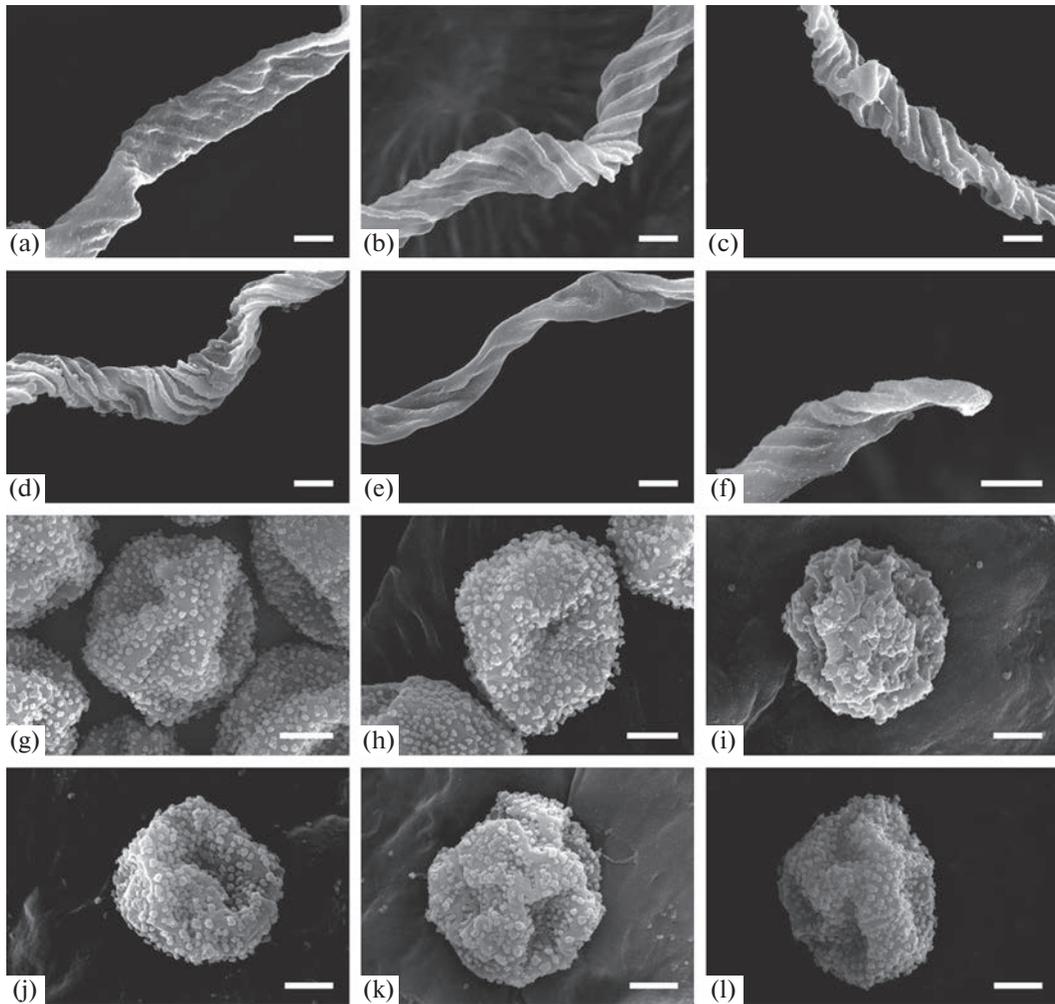


Fig. 4. *Arcyria brunneoiridescens* (SEM): a–f – capillitial threads (NSK 1016772, NSK 1016771, NSK 1016774, NSK 1016762, NSK 1016781, NSK 1016771); g–l – spores (NSK 1016772, NSK 1016771, NSK 1016781, NSK 1016762, NSK 1030490, NSK 1016774). Scale – 2 μ m.

(e.g., *Hemitrichia leiocarpa*), in spite of the most of species of this clade lack spiral.

Previously, all known collections of *Trichia brunnea* were obtained in moist chamber cultures on weathered dung of herbivorous animals and this species was recognized as an obligate fimicolous (coprophilous) species (Eliasson, 2013). This conclusion is probably is connected with insufficiently studied ecology of this rare species.

This species has thick-walled spores. However, for our opinion, thick spore walls cannot be considered as an exclusive feature of fimicolous species. For example, specimens of *Arcyria globosa* collected in the Asian part of Russia always have a thick spore wall, while this species is common in epiphytic and litter substrate guilds in the arid regions of Siberia. (Vlasenko et al., 2021 a, b). It is possible that the thick spore wall is a morphological adaptation to survive in arid regions.

In this study we used a modified method of moist chamber cultures which allows us to record species that

require a long period of incubation in moist chambers to form sporocarps. At the same time, excess water from the Petri dishes does not drain, the dishes are naturally ventilated, and the cultivation time increases to 3–6 months (Vlasenko et al., 2018). During 3 months, we found *T. brunnea* on different substrates collected in Siberia (Tyva and Yakutia) in period 2011–2022 years. In result, the species was registered on dung of animals (13 records), on plant litter (5 records), and even on tree bark birch, larch and spruce (8 records). Interestingly that sporocarps on the bark were obtained during 1.5 months, whereas on the droppings of herbivorous animals for 2.5–3 months. This shows a broader ecological niche for this species than previously thought.

The expedition work was carried out within the framework of the State Task for the Central Siberian Botanical Garden, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, project № AAAA-A21-121011290024-5 and for YKN by the task № 122011900033-4. DNA isolation and sequencing were financially supported by the Ministry of Education and Science of Russia under Agree-

ment № 075-15-2021-1056 of September 28, 2021 between the BIN RAS and the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, also under Agreement № ЕП/29-10-21-4 of October 29, 2021 between BIN RAN and CSBG SB RAS. Samples of myxomycetes are deposited in M.G. Popov Herbarium, USU 440537, Novosibirsk.

REFERENCES

- Altschul S., Gish W., Miller W. et al. Basic local alignment search tool. *J. Molec. Biol.* 1990. V. 215 (3). P. 403–410. [https://doi.org/10.1016/S0022-2836\(05\)80360](https://doi.org/10.1016/S0022-2836(05)80360)
- Cox J.J. Notes on coprophilous myxomycetes from the Western United-States. *Mycologia.* 1981. V. 73. P. 741–747.
- Eliasson U. Coprophilous myxomycetes: Recent advances and future research directions. *Fungal Diversity.* 2013. V. 59. P. 85–90. <https://doi.org/10.1007/s13225-012-0185-6>
- Eliasson U.H., Keller H.W., Schoknecht J.D. *Kelleromyxa*, a new generic name for *Licea fimicola* (*Myxomycetes*). *Mycol. Res.* 1991. V. 95. P. 1201–1207. [https://doi.org/10.1016/S0953-7562\(09\)80011-7](https://doi.org/10.1016/S0953-7562(09)80011-7)
- Felsenstein J. Evolutionary trees from DNA sequences: a maximum likelihood approach. *J. Molec. Evol.* 1981. V. 17. P. 368–376. <https://doi.org/10.1007/BF01734359>
- Feng Y., Schnittler M. Molecular or morphological species? Myxomycete diversity in a deciduous forest in north-eastern Germany. *Nova Hedwigia.* 2017. V. 104 (1–3). P. 359–380. https://doi.org/10.1127/nova_hedwigia/2016/0326
- Fiore-Donno A.M., Berney C., Pawlowski J. et al. Higher-order phylogeny of plasmodial slime molds (*Myxogastria*) based on elongation factor 1-A and small subunit rRNA gene sequences. *J. Eukaryotic Microbiol.* 2005. V. 52 (3). P. 201–210. <https://doi.org/10.1111/j.1550-7408.2005.00032.x>
- Fiore-Donno A.M., Clissmann F., Meyer M. et al. Two-gene phylogeny of bright-spored *Myxomycetes* (slime moulds, superorder *Lucisporidia*). *PLOS One.* 2013. V. 8. e62586. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062586>
- Fiore-Donno A.M., Nikolaev S.I., Nelson M. et al. Deep phylogeny and evolution of slime moulds (*Mycetozoa*). *Protist.* 2010. V. 161 (1). P. 55–70. <https://doi.org/10.1016/j.protis.2009.05.002>
- García-Cunchillos I., Zamora J.C., Ryberg M. et al. Phylogeny and evolution of morphological structures in a highly diverse lineage of fruiting-body-forming amoebae, order *Trichiales* (*Myxomycetes*, *Amoebozoa*). *Molec. Phylog. Evol.* 2022. V. 177. Art. 107609. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2022.107609>
- Gilbert H.C., Martin G.W. Myxomycetes found on the bark of living trees. *Univ. Iowa Stud. Natural History.* 1933. V. 15. P. 3–8.
- Härkönen M. Corticolous *Myxomycetes* in three different habitats in southern Finland. *Karstenia.* 1977. V. 17. P. 19–32. <https://doi.org/10.29203/ka.1977.121>
- Katoh K., Misawa K., Kuma K. et al. MAFFT: a novel method for rapid multiple sequence alignment based on fast Fourier transform. *Nucleic Acids Res.* 2002. V. 30. P. 3059–3066. <https://doi.org/10.1093/nar/gkf436>
- Katoh K., Standley D.M. MAFFT Multiple Sequence Alignment Software Version 7: Improvements in Performance and Usability. *Molec. Biol. Evol.* 2013. V. 30 (4). P. 772–780. <https://doi.org/10.1093/molbev/mst010>
- Katoh K., Toh H. Recent developments in the MAFFT multiple sequence alignment program. *Brief. Bioinformatics.* 2008. V. 9 (4). P. 286–298. <https://doi.org/10.1093/bib/bbn013>
- Kumar S., Stecher G., Li M., Knyaz C., Tamura K. MEGA X: Molecular Evolutionary Genetics Analysis across computing platforms. *Molec. Biol. Evol.* 2018. V. 35. P. 1547–1549. <https://doi.org/10.1093/molbev/msy096>
- Lado C. An online nomenclatural information system of *Eumycetozoa*. Real Jardín Botánico, CSIC, Madrid. 2005–2023. <http://www.nomen.eumycetozoa.com>
- Leontyev D.V., Schnittler M., Stephenson S.L. et al. Towards a phylogenetic classification of the *Myxomycetes*. *Phytotaxa.* 2019. V. 399 (3). P. 209–238. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.399.3.5>
- Nguyen L.-T., Schmidt H.A., von Haeseler A. et al. IQ-TREE: A fast and effective stochastic algorithm for estimating maximum-likelihood phylogenies. *Molec. Biol. Evol.* 2015. V. 32 (1). P. 268–274. <https://doi.org/10.1093/molbev/msu300>
- Novozhilov Y.K., Zemlianskaia I.V., Schnittler M. et al. Myxomycete diversity and ecology in the arid regions of the Lower Volga River Basin (Russia). *Fungal Diversity.* 2006. V. 23. P. 193–241.
- Poulain M., Bozonnet J., Kohn A. *Les Myxomycetes*. FMBDS, Sevrier, 2012.
- Rambaut A. FigTree v.1.4.4. 2018. <http://tree.bio.ed.ac.uk/software/figtree/>. Accessed 23.06.2023.
- Ronikier A., García-Cunchillos I., Janik P. et al. Nivicolous *Trichiales* from the austral Andes: unexpected diversity including two new species. *Mycologia.* 2020. V. 112 (4). P. 753–780. <https://doi.org/10.1080/00275514.2020.1759978>
- Trichia brunnea J.J. Cox. Meise Botanic Garden Herbarium. 2023a. <https://www.botanicalcollections.be/#/en/specimen/BR5020067892894>. Accessed 23.06.2023.
- Trichia brunnea J.J. Cox. Danish *Myxomycetes*. 2023b. <http://www.myx.dk/spp/tribru.html>. Accessed 23.06.2023.
- Trifinopoulos J., Nguyen L.-T., von Haeseler A. et al. W-IQ-TREE: a fast online phylogenetic tool for maximum likelihood analysis. *Nucleic Acids Res.* 2016. V. 44 (W1). P. 232–235. <https://doi.org/10.1093/nar/gkw256>
- Vlasenko A.V., Filippova N.V., Vlasenko V.A. *Echinostelium novozhilovii* (*Echinosteliaceae*, *Myxomycetes*), a new species from Northern Asia. *Phytotaxa.* 2018. V. 367 (1). P. 091–096. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.367.1.11>
- Vlasenko A.V., Novozhilov Yu.K., Vlasenko V.A. et al. New data on obligate coprobiont myxomycetes of Siberia. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta.* 2017. V. 21. P. 50–60 (in Russ.).

- Vlasenko A., Vlasenko V. First Asian record of *Comatricha anomala*, a rare epiphytic corticolous myxomycete. *Karstenia*. 2020. V. 58 (1). P. 10–15.
<https://doi.org/10.29203/ka.2020.485>
- Vlasenko A.V., Vlasenko V.A., Novozhilov Yu.K. et al. Methods and difficulties of identifying species in studies on the ecology and distribution patterns of spore organisms. *Contemporary Problems of Ecology*. 2020. V. 13 (4). P. 346–359.
<https://doi.org/10.1134/S1995425520040113>
- Vlasenko A.V., Sambyla Ch.N., Novozhilov Yu.K. et al. Rare myxomycete species from Siberia and first record of *Tubifera dimorphotheca* in Russia. *Czech Mycology*. 2021a.
<https://doi.org/10.33585/cmy.73209>
- Vlasenko A., Shanmak R., Sambyla Ch. First data on Myxomycetes of the State Nature Preserve “Sut-Khol”, Republic of Tuva (Tyva), Russia. In: Northern Asia plant diversity: Current trends in research and conservation. *BIO Web of Conferences*. 2021b. V. 38, 00136, pp. 1–5.
- Walker L.M., Leontyev D.V., Stephenson S.L. *Perichaena longipes*, a new myxomycete from the Neotropics. *Mycologia*. 2015. V. 107 (5). P. 1012–1022.
<https://doi.org/10.3852/14-330>
- Власенко А.В., Новожилов Ю.К., Власенко В.А. и др. (Vlasenko et al.) Новые данные об облигатных копробионтных миксомицетах Сибири // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология. 2017. Т. 21. С. 50–60.

Филогения *Trichia brunnea* и новое название в роде *Arcyria* (Trichiales, Myxomycetes)

А. В. Власенко^{a, #}, Ю. К. Новожилов^{b, ##}, А. А. Бондарь^{c, ###}, В. А. Власенко^{a, ####}

^aЦентральный Сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, Россия

^bБотанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

^cИнститут химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, Новосибирск, Россия

[#]e-mail: anastasiamix81@mail.ru

^{##}e-mail: yurynovozh1lov@yandex.ru

^{###}e-mail: ibp@ibp.ru

^{####}e-mail: vlasenkomyces@mail.ru

Недавние филогенетические исследования указывают на таксономическую неопределенность некоторых видов рода *Arcyria* (*Arcyriaceae*) и *Trichia* (*Trichiaceae*). Например, филогенетическое положение *Trichia brunnea* до сих пор было не определено. Мы пересмотрели таксономическое положение этого вида на основе обширной выборки последовательностей 18S ярдНК, а также на морфологическом анализе спорокарпов и спор. Кратко представлена номенклатурная история *T. brunnea* и дано исчерпывающее морфологическое описание вида. В результате мы предлагаем перенос *T. brunnea* в род *Arcyria*. Название *Arcyria brunnea* уже существует, в связи с чем мы предлагаем новое название *A. brunneoiridescens* (= *Trichia brunnea*).

Ключевые слова: миксомицеты, распространение, таксономия, 18S ярдНК, *Amoebozoa*, *Arcyria*, *Myxogastria*, *Trichia*

***SIDERA TIBETICA* (HYMENOCHAETALES, BASIDIOMYCOTA),
A NEW SPECIES TO RUSSIA**© 2023 S. V. Volobuev^{1,*}¹Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, 197022 St. Petersburg, Russia

*e-mail: sergvolobuev@binran.ru

Received June 27, 2023; Revised July 21, 2023; Accepted July 28, 2023

The first findings of recently described polypore fungus *Sidera tibetica* are revealed in the Caspian lowland forests of the Samursky National Park in the Republic of Dagestan, Russia. Basidiomata collected on *Pinus brutia* var. *eldarica* were studied by both light microscopy and molecular methods. Detailed information on new localities and habitats of *Sidera tibetica* as well as the collection numbers of specimens deposited in the Mycological Herbarium of the Komarov Botanical Institute of RAS (LE) are provided. Two complete sequences of ITS1–5.8S–ITS2 nuclear ribosomal DNA for Caucasian specimens of *S. tibetica* have been obtained and submitted to the GenBank database. Newly generated sequences are formed a separate well-supported clade in the Maximum Likelihood phylogenetic analysis together with all available ITS nrDNA sequences of *S. tibetica* originated from Belarussian and Chinese collections including the reference sequence from a holotype.

Keywords: biodiversity, biogeography, DNA barcodes, North-Eastern Caucasus, pine plantations, polypores, Republic of Dagestan

DOI: 10.31857/S0026364823060156, **EDN:** UGNTKD

INTRODUCTION

The genus *Sidera* Miettinen et K.H. Larss. was introduced by O. Miettinen and K.-H. Larsson (2011) initially to combine four species – *Sidera lenis* (P. Karst.) Miettinen (type species), *S. lowei* (Rajchenb.) Miettinen, *S. lunata* (Romell ex Bourdot et Galzin) K.H. Larss., *S. vulgaris* (Fr.) Miettinen – based on both their micromorphology and molecular data. These species formed a monophyletic group as a member of *Rickenella* clade within *Hymenochaetales* (Larsson et al., 2006). Peculiar crystal rosettes on subicular and sometimes tramal hyphae, typical for representatives of the genus, inspired the taxon authors to choose the Latin name *sidus*, meaning “star”, for the genus name *Sidera*. Along with star-like crystals, the main morphological features of the genus are whitish resupinate basidiomata, generative hyphae with clamp connections, and allantoid basidiospores. As for types of hyphal system, both monomitic and dimitic species are known among representatives of the genus (Miettinen, Larsson, 2011). Most of *Sidera* species have poroid hymenophore with an exception for hydroid species *S. lunata*. All species of the genus *Sidera* cause a white rot (Liu et al., 2023).

Currently, 19 species are accepted in *Sidera* (Miettinen, Larsson, 2011; Du et al., 2019, 2020; Liu et al., 2021, 2022, 2023; Xu et al., 2023). At the same time, only three species (*Sidera lenis*, *S. lunata*, *S. vulgaris*) of the genus were previously registered in Russia (Bolshakov et al., 2022). During ongoing investigations of wood-inhabiting aphyllorphoroid fungi on the territory

of the Samursky National Park in the Republic of Dagestan (Volobuev, 2020, 2021; Volobuev, Shakhova, 2022), new specimens from the genus *Sidera* were collected and identified as belonging to *Sidera tibetica* Z.B. Liu, Jian Yu et F. Wu. This work aimed to describe new collections of *S. tibetica* as a new to Russia species based on morphological and phylogenetic evidence.

MATERIALS AND METHODS

Study area. Field work was carried out by the author in September 2022 on the territory of “Delta Samura” site of the Samursky National Park in Magaramkentsky district of the Republic of Dagestan using the standard route method (Lodge et al., 2004). The forest vegetation of the Samur River delta is represented by riparian forests, which develop in a narrow belt along the streams in periodically flooded areas, and interfluvial forests on the overflow non-flooded terraces and interfluvial territories. The main forest-forming species of riparian forests are *Alnus glutinosa* subsp. *barbata* (C.A. Mey.) Yalt., *A. incana* (L.) Moench, *Populus alba* L., *P. nigra* L., and *Salix alba* L., *S. excelsa* S.G. Gmel. (Novikova, Polyanskaya, 1994). Lianas presented by *Clematis orientalis* L., *C. vitalba* L., *Hedera pastuchovii* Woronow, *Humulus lupulus* L., *Lonicera caprifolium* L., *Periploca graeca* L., *Rubus* spp., *Smilax excelsa* L., and *Vitis vinifera* L. (Litvinskaya, Murtazaliev, 2015) are common for this forest type. Interfluvial forests are mainly dominated by *Carpinus betulus* L. and *Quercus robur* subsp. *pedunculiflora* (K. Koch) Menitsky



Fig. 1. Plantations of *Pinus brutia* var. *eldarica* in the Samursky National Park (photo S.V. Volobuev).

with *Euphorbia amygdaloides* L. or *Hedera pastuchovii* in an herbaceous layer (Novikova, Polyanskaya, 1994).

Fungal specimens were collected within a plot of man-made forest plantations of *Pinus brutia* var. *eldarica* (Medw.) Silba (Fig. 1). The shrub layer is represented by species characteristic for the forests of the Samursky National Park – *Acer campestre* L., *Cornus sanguinea* subsp. *australis* (C.A. Mey.) Jáv., *Corylus avellana* L., *Crataegus germanica* (L.) Kuntze and some others. Along with them, in some places there are stands of *Ulmus minor* Mill. In addition, recovery of some lianas such as *Clematis vitalba*, *Hedera pastuchovii*, *Periploca graeca*, *Smilax excelsa* is observed. The herbaceous layer is drastically transformed, with a significant number of synanthropic species, especially in gaps and open patches. In more humidified areas, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. dominates in the composition of the herbaceous layer.

Morphological investigations. The specimens collected in this study are deposited in the Mycological Herbarium of the Komarov Botanical Institute RAS,

St. Petersburg (LE). Macro-morphological (pore surface) measurements and photographs were made based on dried specimens using a Zeiss Axio Zoom.VI6 motorized stereomicroscope with a ZEISS AxioCam 712 color digital camera (Carl Zeiss Microscopy Deutschland GmbH, Oberkochen, Germany). Microscopic identification were performed by light microscopy technique using an Axio Imager.A1 microscope with magnification up to 1000× and a Zeiss AxioCam 506 color digital camera (Carl Zeiss Microscopy Deutschland GmbH, Oberkochen, Germany). A total of 20 basidiospores stained with 0.1% Cotton Blue were measured. Microscopic measurements were made using Zeiss Zen 3.2 software.

Molecular studies. Genomic DNA was extracted from small pieces of dried basidiomata with PhytoSorb (Sintol, Moscow, Russia) according to the manufacturer's instructions. The internal transcribed spacer regions of the nuclear ribosomal DNA (ITS nrDNA) were amplified with the primers pair ITS1F/ITS4B (Gardes, Bruns, 1993). PCR reactions were performed

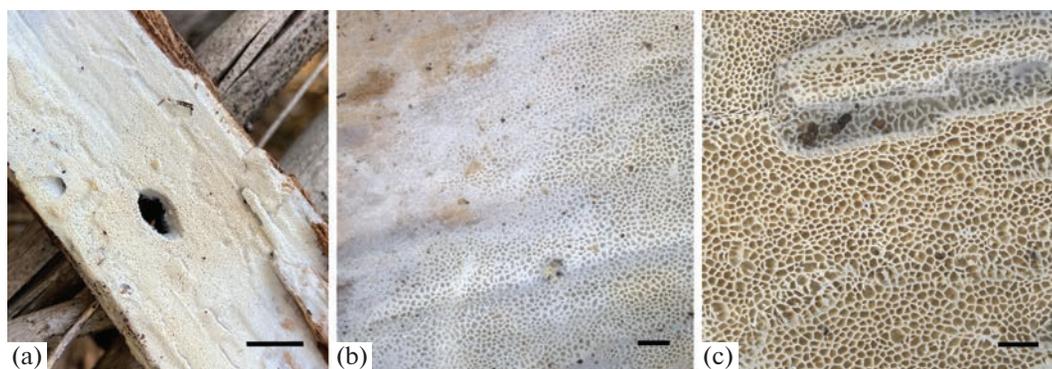


Fig. 2. *Sidera tibetica* LE F-342596 (photo S.V. Volobuev): a – basidioma *in situ*; b – margin of basidioma; c – pore surface. Scale – 1 cm (a), 1 mm (b, c).

with 2× BioMaster HS-Taq PCR-Color reaction mix (Biolabmix, Novosibirsk, Russia) in a total volume of 20 µl. Products of amplification were visualized by 1% agarose gel electrophoresis, and then purified using the CleanMag DNA (Evrogen, Russia) purification kit. Sequencing was performed on an ABI model 3500 Genetic Analyzer (Applied Biosystems, Foster City, USA). Raw data were edited and assembled in MEGA X (Kumar et al., 2018). The newly obtained sequences were deposited in the NCBI GenBank database.

The sequences were aligned with 37 additional sequences retrieved from GenBank database (Table 1), using a MAFFT v. 7 web tool (Katoh et al., 2019) with the E–INS–i option. The maximum-likelihood (ML) phylogenetic analysis using the IQ-TREE web server (Trifinopoulos et al., 2016) with 1000 ultra-fast bootstrap repeats was performed to identify the phylogenetic position of newly sequenced specimens.

The nomenclature of fungal taxa follows the Index Fungorum (2023). Names of vascular plants are given according to the Plants of the World Online database (POWO, 2023).

RESULTS AND DISCUSSION

As a result of morphological and molecular phylogeny investigations of collected specimens, a new species to Russia, *Sidera tibetica*, was identified. Studied specimens from the Samursky National Park are completely corresponds to the morphological description from the protologue (Liu et al., 2022), including whitish to yellowish-cream pore surface with round to angular pores, 7–8 per mm, and white, indistinct, thinning out sterile margin (Fig. 2), and smooth, lunate, hyaline, thin-walled basidiospores, $(3.0)3.1–3.2(3.3) \times (1.0)1.1–1.2 \mu\text{m}$, $Q = 2.75–2.86$.

Specimens examined: Russia, Republic of Dagestan, Magaramkentsky District, the Samursky National Park, 41.895378° N, 48.499018° E, –36 m a.s.l., on fallen trunk of *Pinus brutia* var. *eldarica* in herb-mosses pine forest, 19.09.2022, coll. and det. S.V. Volobuev (LE F-342596, GenBank nrITS – OR457650); *ibid.*, 41.894898° N, 48.499529° E, –39 m a.s.l., on fallen branches of *P. brutia* var.

eldarica in herb-mosses pine forest, 19.09.2022, coll. and det. S.V. Volobuev (LE F-342597, GenBank nrITS – OR457651).

A total of 37 available nrITS sequences of all *Sidera* species and two sequences of *Skvortzovia furfuracea* (Bres.) G. Gruhn et Hallenberg as an outgroup were chosen to perform phylogenetic analysis. The final dataset contained 39 nrITS sequences and consisted of 2435 characters, including gaps. In general, tree topology obtained (Fig. 3) confirmed the species delimitation in the genus *Sidera* up to date. Newly generated two complete nrITS sequences from Caucasian specimens are nested within a separate well-supported clade of *Sidera tibetica*. This lineage with strong support value (100% ML bootstrap) combines all known sequences of *S. tibetica* originated from Belarussian and Chinese collections including the reference sequence from a holotype (OM974253).

Specimens of *S. tibetica* collected on fallen trunk and branches of *Pinus brutia* var. *eldarica* in pine plantations on the territory of Samursky National Park corresponds to substrate preferences of the species. Indeed, all known collections of *S. tibetica* were made on dead pine wood – rotten or fallen trunks or branches. Among representatives of the genus *Pinus* L., two species, *P. armandi* Franch. and *P. yunnanensis* Franch., were previously noted as hosts for *S. tibetica* (Liu et al., 2022; Liu et al., 2023). The only exception is the specimen collected on rotten wood of *Picea* sp. in the Belovezhskaya Pushcha National Park, Belarus (Liu et al., 2023). At the same time, taking into account the co-occurrence of pine and spruce in the area, as well as the fact that xylotrophic saprotrophs, to which *S. tibetica* belongs, may inhabit a substrate with similar characteristics (both spruce and pine are coniferous trees), the detection of this fungus on *Picea* sp. seems to be quite natural.

Geographically, new records of *S. tibetica* on the territory of the North-Eastern Caucasus in the Republic of Dagestan reduce the disjunction of the species distribution area. Until the present study *S. tibetica* was registered only in different regions of China (from type

Table 1. Voucher information and GenBank accession numbers for ITS sequences used in this study

Species	Specimen	Origin (country)	GenBank accession no.	Reference
<i>Sidera americana</i> Z.B. Liu et Yuan Yuan	Dai 19173	Canada	MW198477	Liu et al. (2023)
	Dai 12730 (holotype)	USA	MW198478	Liu et al. (2023)
<i>S. borealis</i> Z.B. Liu et Yuan Yuan	Cui 11216 (holotype)	China	MW198485	Liu et al. (2023)
	Dai 24187	China	OQ134536	Liu et al. (2023)
<i>S. inflata</i> Z.B. Liu et Y.C. Dai	Cui 13610 (holotype, BJFC 028475)	China	MW198480	Liu et al. (2021)
<i>S. lenis</i> (P. Karst.) Miettinen	Miettinen 11036.1	Finland	FN907914	Miettinen, Larsson (2011)
	NSK 1017015	Russia	OR364533	Unpublished
<i>S. lowei</i> (Rajchenb.) Miettinen	Ryvarden 40576	Venezuela	FN907917	Miettinen, Larsson (2011)
	Ryvarden 38817	New Zealand	FN907919	Miettinen, Larsson (2011)
<i>S. lunata</i> (Romell ex Bourdot et Galzin) K.H. Larss.	Stokland 15063 (O)	Norway	DQ873593	Larsson et al. (2006) (as <i>Athelopsis lunata</i>)
<i>S. malaysiana</i> Z.B. Liu et Y.C. Dai	Dai 18570 (holotype, BJFC 026859)	Malaysia	MW198481	Liu et al. (2021)
<i>S. minutipora</i> (Rodway et Cleland) Y.C. Dai, F. Wu, G.M. Gates et Rui Du	Cui 16720 (BJFC 030019)	Australia	MN621349	Du et al. (2020)
	Gates FF257	Australia	FN907922	Miettinen, Larsson (2011) (as <i>Sidera vulgaris</i>)
<i>S. minutissima</i> Y.C. Dai, F. Wu, G.M. Gates et Rui Du	Dai 19529 Dai 19529 (holotype, BJFC)	Sri Lanka	MN621352	Du et al. (2020)
	Dai 22495	China	OM974248	Liu et al. (2023)
<i>S. parallela</i> Y.C. Dai, F. Wu, G.M. Gates et Rui Du	Cui 10346 (holotype, BJFC 011241)	China	MK346145	Du et al. (2020)
	Cui 10361	China	MK346144	Du et al. (2020)
<i>S. punctata</i> Z.B. Liu et Y.C. Dai	Dai 22119 (holotype, BJFC 036011)	China	MW418438	Liu et al. (2021)
<i>S. roseo-bubalina</i> Z.B. Liu et Y.C. Dai	Dai 11277 (holotype, BJFC 007251)	China	MW198483	Liu et al. (2021)
<i>S. salmonea</i> Z.B. Liu, J. Yu et F. Wu	Dai 23343	China	OM974249	Liu et al. (2022)
	Dai 23354	China	OM974250	Liu et al. (2022)
<i>Sidera</i> sp.	UC2023008	USA	KP814157	Rosenthal et al. (2017)
<i>S. srilankensis</i> Y.C. Dai, F. Wu, G.M. Gates et Rui Du	Dai 19581	Sri Lanka	MN621345	Du et al. (2020)
	Dai 19654 (holotype, BJFC)	Sri Lanka	MN621344	Du et al. (2020)
<i>S. tenuis</i> Y.C. Dai, F. Wu, G.M. Gates et Rui Du	Dai 18697 (holotype, BJFC 027166)	Australia	MK331865	Du et al. (2020)
	Dai 18698	Australia	MK331866	Du et al. (2020)
<i>S. tianshanensis</i> B.K. Cui et T.M. Xu	Cui 19143 (holotype)	China	OP920995	Xu et al. (2023)
	Cui 19196	China	OP920998	Xu et al. (2023)
<i>S. tibetica</i> Z.B. Liu, Jian Yu et F. Wu	Dai 23648 (holotype, BJFC 038220)	China	OM974253	Liu et al. (2022)
	Dai 23407	China	OM974252	Liu et al. (2022)
	Dai 21057	Belarus	MW198484	Liu et al. (2023)
	Dai 22151	China	MW477794	Liu et al. (2023)
	LE F-342596	Russia	OR457650	current study
	LE F-342597	Russia	OR457651	current study

Table 1. (Contd.)

Species	Specimen	Origin (country)	GenBank accession no.	Reference
<i>S. vesiculosa</i> Rui Du et M. Zhou	BJFC025377 (holotype)	Singapore	MH636564	Du et al. (2019)
	BJFC025367	Singapore	MH636565	Du et al. (2019)
<i>S. vulgaris</i> (Fr.) Miettinen	Ryvarden 37198	New Zealand	FN907918	Miettinen, Larsson (2011)
<i>Skvortzovia furfuracea</i> (Bres.) G. Gruhn et Hallenberg	PRA-JV25256	Czech Republic	OM104985	Vondrák et al. (2023)
	KHL 11738 (GB)	Finland	DQ873648	Larsson et al. (2006) (as <i>Resinicium furfuraceum</i>)

locality in the north-western part to the eastern-coastal area of the country) and outside Asia, in Belarus, based

on the record in the Belovezhskaya Pushcha National Park (Liu et al., 2022; Liu et al., 2023).

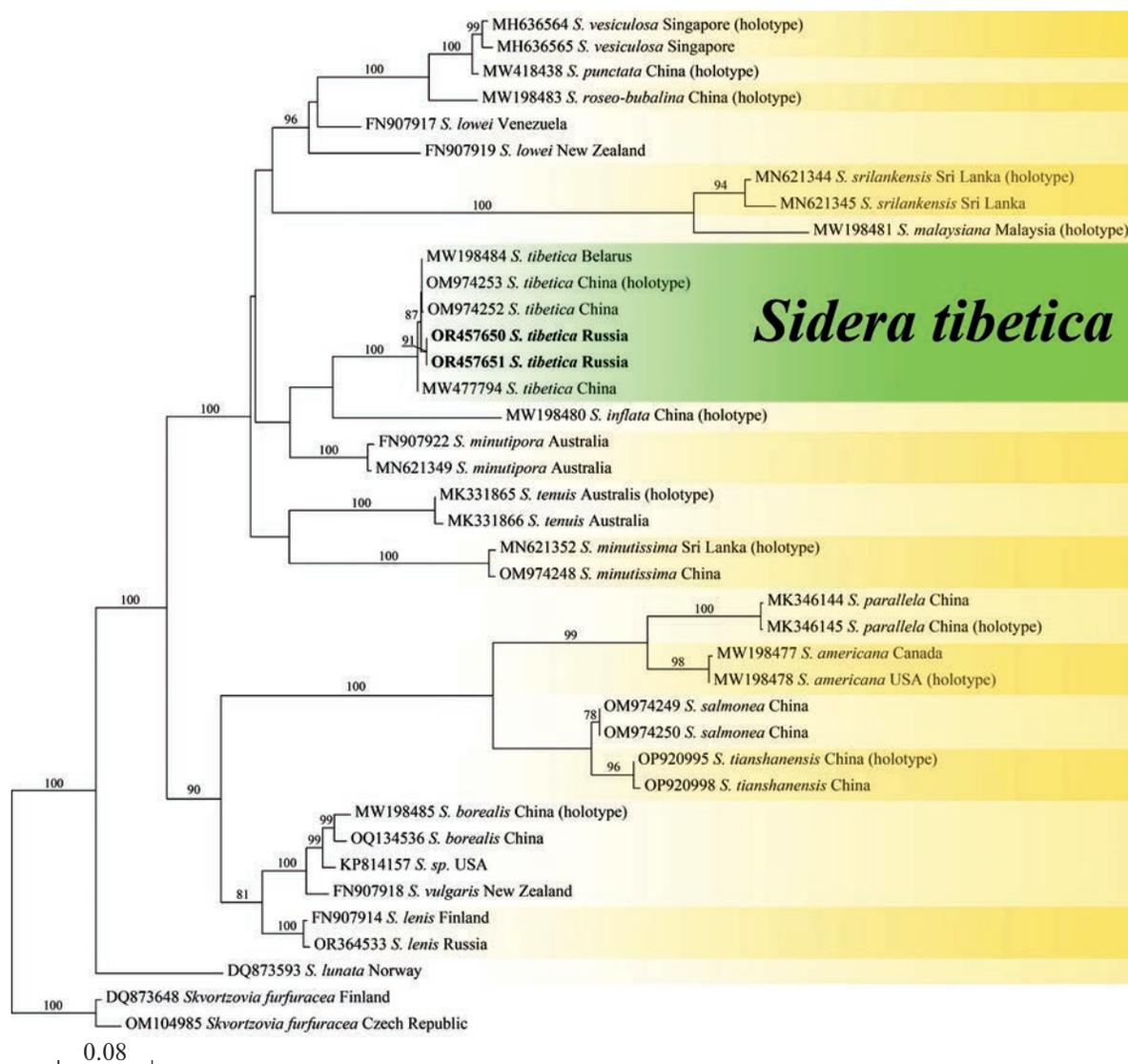


Fig. 3. Phylogenetic position of ITS nrDNA *Sidera tibetica* sequences newly generated in this study (in bold face) based on Maximum likelihood method. Bootstrap support values are shown above branches (BS ≥ 75%). The scale bar represents the expected number of nucleotide changes per site.

CONCLUSION

Based on presented data, a species list of the genus *Sidera* recorded for Russia is supplemented by *Sidera tibetica*, and currently it includes four species – *Sidera lenis*, *S. lunata*, *S. tibetica*, and *S. vulgaris*. The rapid progress in the description of new fungal species, primarily based on the study of DNA nucleotide sequences, determines the urgency of molecular revision of all the accumulated herbarium material on this taxon. Specimens of *Sidera* collected in Siberia and the Russian Far East, where the discovery of species new to the country is quite expected, are of undoubted interest, as well as materials collected in the European part of Russia and the Caucasus.

The study was supported by the Russian Science Foundation, project № 23-24-00335. This work was carried out using the equipment of the Core Facility Centre “Cell and Molecular Technologies in Plant Science” at the Komarov Botanical Institute, RAS (St. Petersburg, Russia).

REFERENCES

- Bolshakov S.Yu., Volobuev S.V., Ezhov O.N. et al.* Aphyllophoroid fungi of the European part of Russia: a checklist / Eds. S.Yu. Bolshakov, S.V. Volobuev. ETU Publishing house, SPb., 2022 (in Russ.).
- Du R., Wang L., Zhou M. et al.* A new species of *Sidera* (*Hymenochaetales*, *Basidiomycota*) from tropical Asia. *Phytotaxa*. 2019. V. 387 (2). P. 165–171. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.387.2.9>
- Du R., Wu F., Gate G.M. et al.* Taxonomy and phylogeny of *Sidera* (*Hymenochaetales*, *Basidiomycota*): four new species and keys to species of the genus. *MycKeys*. 2020. V. 68. P. 115–135. <https://doi.org/10.3897/mycokeys.68.53561>
- Gardes M., Bruns T.D.* ITS primers with enhanced specificity for basidiomycetes – application to the identification of mycorrhizae and rusts. *Molec. Ecol.* 1993. V. 2 (2). P. 113–118. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.1993.tb00005.x>
- Index Fungorum. CABI Bioscience, 2023. <http://www.indexfungorum.org>. Accessed 20.06.2023.
- Katoh K., Rozewicki J., Yamada K.D.* MAFFT online service: multiple sequence alignment, interactive sequence choice and visualization. *Briefings in Bioinformatics*. 2019. V. 20. P. 1160–1166. <https://doi.org/10.1093/bib/bbx108>
- Kumar S., Stecher G., Li M. et al.* MEGA X: Molecular Evolutionary Genetics Analysis across computing platforms. *Molec. Biol. Evol.* 2018. V. 35 (6). P. 1547–1549. <https://doi.org/10.1093/molbev/msy096>
- Larsson K.-H., Parmasto E., Fischer M. et al.* *Hymenochaetales*: a molecular phylogeny for the hymenochaetoid clade. *Mycologia*. 2006. V. 98 (6). P. 926–936. <https://doi.org/10.1080/15572536.2006.11832622>
- Litvinskaya S., Murtazaliev R.* Vegetation diversity of the Russian part of the Caucasus in the era of climate change. In: *M. Öztürk et al. (eds).* Climate change impacts on high-altitude ecosystems. Springer, Cham, 2015. P. 523–544.
- Liu Z.B., Zhou H.M., Liu H.G. et al.* Taxonomy and phylogeny of *Sidera* (*Hymenochaetales*, *Rickenella* clade) from China and North America revealing two new species. *MycKeys*. 2023. V. 96. P. 173–191. <https://doi.org/10.3897/mycokeys.96.100743>
- Liu Z.B., Zhou M., Wu F. et al.* Two new species of *Sidera* (*Hymenochaetales*, *Basidiomycota*) from Southwest China. *J. Fungi*. 2022. V. 8. Art. 385. <https://doi.org/10.3390/jof8040385>
- Liu Z.B., Zhou M., Yuan Y. et al.* Global diversity and taxonomy of *Sidera* (*Hymenochaetales*, *Basidiomycota*): four new species and keys to species of the genus. *J. Fungi*. 2021. V. 7. Art. 251. <https://doi.org/10.3390/jof7040251>
- Lodge D.J., Ammirati J.F., O'Dell T.E. et al.* Terrestrial and lignicolous macrofungi. In: *Biodiversity of fungi. Inventory and monitoring methods.* Elsevier Academic Press, L. etc., 2004. P. 127–172.
- Miettinen O., Larsson K.-H.* *Sidera*, a new genus in *Hymenochaetales* with poroid and hydroid species. *Mycological Progress*. 2011. V. 10. P. 131–141. <https://doi.org/10.1007/s11557-010-0682-5>
- Novikova N.M., Polyanskaya A.V.* Samursky liana forests: the challenge of biodiversity conservation in a developing water industry. Moscow, 1994 (in Russ.).
- POWO. 2023. Plants of the World Online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. <http://www.plantsoftheworldonline.org>. Accessed 25.07.2023.
- Rosenthal L.M., Larsson K.-H., Branco S. et al.* Survey of corticioid fungi in North American pinaceous forests reveals hyperdiversity, underpopulated sequence databases, and species that are potentially ectomycorrhizal. *Mycologia*. 2017. V. 109 (1). P. 115–127. <https://doi.org/10.1080/00275514.2017.1281677>
- Trifinopoulos J., Nguyen L.T., von Haeseler A. et al.* W-IQ-TREE: a fast online phylogenetic tool for maximum likelihood analysis. *Nucleic Acids Research*. 2016. V. 44 (W1). P. W232–W235. <https://doi.org/10.1093/nar/gkw256>
- Volobuev S.V.* *Antrodia hyalina* (*Polyporales*, *Basidiomycota*), new species to the Caucasus. *Botanical Journal of the North Caucasus*. 2021. V. 1. P. 28–34. https://doi.org/10.33580/24092444_2021_1_28
- Volobuev S.V.* Aphyllophoroid fungi of the “Samurskiy” National Park (Dagestan). *Mikologiya i fitopatologiya*. 2020. V. 54 (4). P. 235–243. <https://doi.org/10.31857/S002636482004011X>
- Volobuev S.V., Shakhova N.V.* Monitoring of protected fungal species in Samursky national park. *Botanical Journal of the North Caucasus*. 2022. V. 2. P. 7–13. https://doi.org/10.33580/24092444_2022_2_7
- Vondrák J., Svoboda S., Zíbarová L. et al.* Alcobiosis, an algal-fungal association on the threshold of lichenisation. *Sci Rep*. 2023. V. 13. Art. 2957. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29384-4>

Xu T.M., Sun Y.F., Liu S. et al. *Ceriporiopsis tianshanensis* (Polyporales, Agaricomycetes) and *Sidera tianshanensis* (Hymenochaetales, Agaricomycetes), two new species of wood-inhabiting fungi from Xinjiang, Northwest China. MycoKeys. 2023. V. 98. P. 1–18.
<https://doi.org/10.3897/mycokeys.98.102552>

Большаков С.Ю., Волобуев С.В., Ежов О.Н. и др. (Bolshakov et al.) Афиллофоридные грибы европейской

части России: аннотированный список видов / отв. ред. С.Ю. Большаков, С.В. Волобуев. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2022. 578 с.

Новикова Н.М., Полянская А.В. (Novikova, Polyanskaya) Самурские лиановые леса: проблема сохранения биоразнообразия в условиях развивающегося водного хозяйства. М.: РАСХН, 1994. 106 с.

Sidera tibetica (Hymenochaetales, Basidiomycota) – новый для России вид

С. В. Волобуев^{a, #}

^a Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

[#] e-mail: sergvolobuev@binran.ru

Впервые на территории прикаспийских низменных лесов Самурского национального парка (Республика Дагестан, Россия) обнаружен недавно описанный вид трутовых грибов *Sidera tibetica*. Базидиомы, собранные на *Pinus brutia* var. *eldarica*, были изучены как с помощью световой микроскопии, так и молекулярными методами. Приведены подробные сведения о новых выявленных местонахождениях и местообитаниях *Sidera tibetica*, а также коллекционные номера образцов, депонированных в Микологический гербарий Ботанического института РАН им. В.Л. Комарова (LE). Получены и депонированы в базу данных GenBank две полные последовательности ITS1–5.8S–ITS2 ядерной рибосомальной ДНК для кавказских образцов *S. tibetica*. Новые последовательности образуют отдельную хорошо поддерживаемую кладу в филогенетическом анализе на основе метода максимального правдоподобия вместе со всеми доступными ITS ярдНК последовательностями *S. tibetica* из белорусских и китайских образцов, включая референсную последовательность из голотипа.

Ключевые слова: биоразнообразие, биогеография, ДНК-штрихкоды, Северо-Восточный Кавказ, Республика Дагестан, сосновые посадки, трутовики

НОВЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АГАРИКОИДНЫХ БАЗИДИОМИЦЕТАХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА “ШАНТАРСКИЕ ОСТРОВА” (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ, РОССИЯ)

© 2023 г. Е. А. Ерофеева^{1,*}, Е. М. Булах², Н. А. Кочунова^{3,**}

¹Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН, 679016 Биробиджан, Россия

²Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, 690022 Владивосток, Россия

³Амурский филиал Ботанического сада-института ДВО РАН, 675000 Благовещенск, Россия

*e-mail: gladdis@yandex.ru

**e-mail: taraninan@yandex.ru

Поступила в редакцию 03.02.2023 г.

После доработки 15.05.2023 г.

Принята к публикации 23.05.2023 г.

Шантарские о-ва – географически наиболее северная территория в Хабаровском крае, где проводились целенаправленные микологические исследования. Приведен аннотированный список 103 видов агарикоидных базидиомицетов, впервые выявленных на Шантарских о-вах. Из них 21 вид – новые для Хабаровского края. Такие новые для региона виды, как *Cortinarius acutus*, *C. bivelus*, *C. traganus*, *Chromosera lilacina*, *Laccaria bicolor*, на российском Дальнем Востоке ранее были известны только из более северных р-нов: Магаданской обл., Камчатки, Чукотки, Якутии и из таежной зоны Амурской обл. С учетом ранее опубликованных, всего для ООПТ известно 105 видов агарикоидных базидиомицетов. Представленные данные могут рассматриваться лишь как первые сведения о микобиоте национального парка. Для дальнейших микологических исследований наиболее перспективными представляются склоны и распадки южной экспозиции, экранированные от резких северных ветров, на крупных островах архипелага.

Ключевые слова: базидиальные макромицеты, биоразнообразие, Дальний Восток России, особо охраняемые природные территории

DOI: 10.31857/S002636482306003X, **EDN:** SAXOFK

ВВЕДЕНИЕ

Шантарские о-ва – архипелаг материкового происхождения в западной части Охотского моря, на расстоянии около 50 км от побережья материка. В 2013 г. Шантарские о-ва с прилегающей акваторией получили статус национального парка. Ботанические и геоботанические исследования архипелага имеют длительную историю (Shlotgauer, Круглова, 2005). Вместе с тем, достоверных сведений о микобиоте до последнего времени не имелось. В 2019 г. дирекцией ФГБУ “Заповедное Приамурье” была организована комплексная микологическая экспедиция на территорию национального парка. По ее итогам были опубликованы сведения об аскомицетах (Vogacheva, 2021), а также общая характеристика выявленного видового состава базидиомицетов (Vogacheva et al., 2020) и отдельных (преимущественно редких) видов этой группы (Ерофеева et al., 2021). В настоящем сообще-

нии приведены сведения об агарикоидных базидиомицетах Шантарских о-вов.

Исходно преобладающим типом растительности на крупных островах Шантарского архипелага являлись еловые леса из *Picea jezoensis*. Однако, в результате нескольких катастрофических пожаров, связанных с хозяйственной деятельностью человека, часть этих лесов была безвозвратно уничтожена, а выгоревшие площади со временем медленно зарастали, главным образом, *Larix cajanderi*. Практически во всех формациях присутствует кедровый стланик *Pinus pumila*, а выше границы леса он становится эдификатором растительности. В еловых и лиственничных лесах примешиваются каменные березы – *Betula lanata* и *B. ermanii*, ольховники *Duschekia* spp., рябины *Sorbus sambucifolia* и *S. sibirica*, можжевельники *Juniperus davurica* и *J. sibirica*. От сырых и подболоченных участков до водоразделов образуют заросли кустарниковые березы *Betula divaricata* и *B. fruticosa*. На кустарнич-

ково-разнотравных лугах и марях произрастают *Ledum* spp., *Vaccinium uliginosum*, *V. vitis-idaea* и другие вересковые (Nechaev, 1955; Shlotgauer, Kryukova, 2005, 2012).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Сбор образцов производился маршрутным методом. Коллекторы – Е.А. Ерофеева (автор фотографий) и Н.А. Кочунова. Если образец был собран не авторами, это указано в аннотации. Определение проводилось Е.А. Ерофеевой, Е.М. Булах и Н.А. Кочуновой по морфологическим признакам на основании современных ключей и справочников, а также исследований, посвященных отдельным таксонам (Palamarchuk, Kirillov, 2014; Palamarchuk, 2015; Zvyagina, Sazanova, 2022; Zvyagina et al., 2022). Образцы хранятся в микологических гербариях Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, г. Владивосток (VLA) и Амурского филиала Ботанического сада-института ДВО РАН, г. Благовещенск (ABGI).

Данные о географическом распространении и особенностях экологии отдельных видов приведены на основании собственной сводки литературных источников, масштабной работы С.Ю. Большакова с соавторами (Bolshakov et al., 2021) и международной базы данных GBIF (2023).

В представленном ниже аннотированном списке названия таксонов и сокращения имен авторов даны согласно международной базе данных Index Fungorum (2023). Для некоторых видов указаны наиболее распространенные синонимы. Таксоны расположены в алфавитном порядке. Виды, новые для Хабаровского края, отмечены звездочкой.

Для основных участков полевых работ приняты следующие обозначения:

I – о. Б. Шантар, коса, отделяющая оз. Большое от моря, 55°03'15.3" с.ш., 138°03'09.6" в.д.;

II – о. Б. Шантар, бухта Панкова, 55°02'50.8" с.ш., 138°04'05.2" в.д.;

III – о. Б. Шантар, восточная оконечность оз. Большое, 55°02'53.3" с.ш., 138°02'48.5" в.д.;

IV – о. Б. Шантар, восточный склон г. Боковикова, 55°06'23.8" с.ш., 137°57'00" в.д.;

V – о. Б. Шантар, восточный берег оз. Большое, северная оконечность оз. Круглое, 55°01'41.6" с.ш., 137°57'26.1" в.д.;

VI – о. Б. Шантар, окрестности метеостанции “Большой Шантар”, 54°51'35.0" с.ш., 137°32'22.0" в.д.;

VII – о. Прокофьева, северный берег, распадок северной экспозиции, 55°05'36.0" с.ш. 138°21'33.3" в.д.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Аннотированный список видов

Agaricus semotus Fr. – IV, еловый лес с каменной березой, на почве, 22.08.2019, VLA M-27263.

A. sylvaticus Schaeff. – IV, еловый лес с каменной березой, ольховником и рябиной, на подстилке, 14.08.2019, VLA M-27251.

A. sylvicola (Vittad.) Peck – I, приморский разнотравный луг с отдельными кустами кедрового стланика, на подстилке под кедровым стлаником, 10.08.2019, VLA M-27209; II, еловый лес с каменной березой, на подстилке, 12.08.2019, VLA M-27250.

**Amanita contui* Bon et Courtec. [= *A. flavescens* (E.-J. Gilbert) Contu] – VI, лиственный лес с кустарниковой березой, на почве, 24.08.2019, VLA M-27176.

A. muscaria (L.) Lam. – IV, еловый лес с каменной березой, на почве, 22.08.2019, VLA M-27172.

A. regalis (Fr.) Michael – II, еловый лес с каменной березой и ольхой, на почве, 12.08.2019, VLA M-27214.

A. rubescens Pers. – IV, лес из каменной березы с елью и ольховником, на почве, 14.08.2019, VLA M-27235; VI, лиственный лес с кустарниковой березой, на почве, 24.08.2019, VLA M-27235.

Ampulloclitocybe clavipes (Pers.) Redhead, Lutzoni, Moncalvo et Vilgalys – II, лес из каменной березы с ольхой, рябиной и елью, на подстилке, 12.08.2019, VLA M-27232; III, еловый лес, на подстилке, 17.08.2019, VLA M-27232.

**Armillaria borealis* Marxm. et Korhonen – VII, еловый лес, на пне ели, 11.08.2019, VLA M-27175; IV, еловый лес с каменной березой, на древесине живой каменной березы и на сухостое ели, 22.08.2019, VLA M-27174.

Boletinus asiaticus Singer – VI, лиственный лес с кедровым стлаником и елью, на почве, 24.08.2019, VLA M-27183.

B. glandulosus Peck [= *Suillus glandulosus* (Peck) Singer] – VI, лиственный лес с кедровым стлаником, на почве, 24.08.2019, VLA M-27223 (рис. 1, а). В Хабаровском крае вид указывался для Ванинского и Советско-Гаванского р-нов (Rebriev et al., 2023).

B. spectabilis (Peck) Murrill – VI, лиственный лес с кедровым стлаником, елью и кустарниковой березой, на почве, 24.08.2019, VLA M-27173.

Boletus edulis var. *piceicola* Vassilkov – II, еловый лес, на почве под елью, 12.08.2019, VLA M-27198.

Chalciporus piperatus (Bull.) Bataille – II, еловый лес, на почве, 12.08.2019, VLA M-27177.

**Chromosera lilacina* (P. Karst.) Vizzini et Ercole [= *Hygroclype lilacina* (P. Karst.) M.M. Moser] – III, марь кустарничково-разнотравная, на подстилке среди шишки и мха, 17.08.2019, VLA M-27996 (рис. 2, в). Свежие плодовые тела были покрыты обильной слизью.

Collybia cirrhata (Schumach.) Quél. – VI, лиственный лес с кедровым стлаником, елью и кустарниковой березой, на старом пластинчатом грибе, 24.08.2019, VLA M-27229; II, еловый лес с лиственницей и кедровым стлаником, на старом пластинчатом грибе, 27.08.2019, VLA M-27419.

C. cookei (Bres.) J.D. Arnold – II, еловый лес, на старых пластинчатых грибах, 12.08.2019, VLA M-27189.

**Cortinarius acutus* (Pers.) Fr. – IV, еловый лес с каменной березой, на подстилке, 22.08.2019, VLA M-28006; V, еловый лес, на подстилке среди мха, 26.08.2019, VLA M-28006.

**C. bivelus* (Fr.) Fr. – II, еловый лес, на почве, 12.08.2019, VLA M-28012; VI, лиственный лес с кедровым стлаником, елью и кустарниковой березой, на почве, 24.08.2019, VLA M-28017.

C. chrysolitus Kauffman [= *C. huronensis* Ammirati et A.H. Sm.] – VI, лиственный лес с кедровым стлани-



Рис. 1. Малоизвестные виды агарикоидных базидиомицетов родов *Boletinus*, *Lactarius* и *Suillus* национального парка “Шантарские острова”: а – *Boletinus glandulosus* (VLA M-27223); б – *Lactarius alpinus* (VLA M-27271); в – *Suillus ochraceoroseus* (VLA M-27181).

ком, елью и кустарниковой березой, на подстилке, 24.08.2019, VLA M-27266.

C. cinnamomeus (L.) Gray – VII, разреженные заросли кедрового стланика и кустарниковой березы, на почве под кустарниковой березой, 11.08.2019, VLA M-27977; VII, еловый лес, на подстилке, 11.08.2019, VLA M-27977.

**C. collinitus* (Sowerby) Gray – III, еловый лес с лиственницей, на почве, 17.08.2019, VLA M-28015.

**C. evernius* (Fr.) Fr. – V, еловый лес, на почве среди мха, 26.08.2019, VLA M-27980.

**C. mucosus* (Bull.) J. Kickx f. – IV, лес из каменной березы с кустарниковой березой, ольховником и елью, на почве, 14.08.2019, VLA M-28002.

C. sanguineus (Wulfen) Gray – IV, еловый лес, на почве среди зеленого мха, 14.08.2019, VLA M-27254.

C. semisanguineus (Fr.) Gillet – III, еловый лес с кустарниковой березой, на почве, 17.08.2019, VLA M-27257.

**C. traganus* (Fr.) Fr. – VI, лиственный лес с кедровым стлаником, елью и кустарниковой березой, на подстилке, 24.08.2019, собр. А.В. Богачева, VLA M-28011.

C. venetus (Fr.) Fr. var. *montanus* M.M. Moser – VI, лиственный лес с кедровым стлаником, елью и кустарниковой березой, на подстилке, 24.08.2019, VLA M-28019; V, еловый лес, на почве, 26.08.2019, VLA M-28020.

Cuphophyllus pratensis (Pers.) Bon – VI, лиственный лес с кедровым стлаником, елью и кустарниковой березой, на почве, 24.08.2019, VLA M-27978 (рис. 2, б).

Cystoderma amianthinum (Scop.) Fayod – III, еловый лес с кустарниковой березой, на подстилке среди зеленого мха, 17.08.2019, VLA M-27217.

Cystodermella granulosa (Batsch) Harmaja – V, марь голубично-багульниковая, на подстилке среди мха, 26.08.2019, VLA M-27215.

Flammulina velutipes (Curtis) Singer – IV, устье ключа, на древесине плавуника, 22.08.2019, VLA M-27227.

Gliophorus psittacinus (Schaeff.) Herink – IV, берег ручья, на подстилке среди мха, 14.08.2019, VLA M-27210.

Gymnopus confluens (Pers.) Antonín, Halling et Noordel. – IV, еловый лес, на подстилке, 14.08.2019, VLA M-27236; IV, еловый лес с каменной березой, на подстилке, 22.08.2019, VLA M-27236.

G. dryophilus (Bull.) Murrill – I, заросли кедрового стланика, на подстилке под кедровым стлаником, 12.08.2019, VLA M-28018.

Hohenbuehelia fluxilis (Fr.) P.D. Orton – II, еловый лес, на валежном стволе ели, 12.08.2019, VLA M-27231.

Hygrocybe chlorophana (Fr.) Wünsche – I, заросли кедрового стланика, на подстилке, 19.08.2019, VLA M-27976.



Рис. 2. Малоизвестные виды агарикоидных базидиомицетов родов *Chromosera*, *Cuphophyllus*, *Hygrocybe*, *Hygrophorus*, *Stropharia* и *Tricholomopsis* национального парка “Шантарские острова”: а – *Hygrophorus melizeus* (VLA M-27212); б – *Cuphophyllus pratensis* (VLA M-27978); в – *Chromosera lilacina* (VLA M-27996); г – *Hygrocybe laeta* (VLA M-27262); д – *Stropharia pseudocyanea* (VLA M-27258); е – *Tricholomopsis flammula* (VLA M-27201).

H. laeta (Pers.) P. Kumm. – IV, склон с кустарниково-травянистой растительностью, среди зеленого мха, 22.08.2019, VLA M-27262 (рис. 2, г).

H. miniata (Fr.) P. Kumm. – II, кедровый стланик с елью, на почве, 27.08.2019, VLA M-27982.

H. quieta (Kühner) Singer [= *H. obrussea* (Fr.: Fr.) Wünsche s. Arnolds] – IV, лес из каменной березы с ольховником, на почве на тропинке среди травы, 22.08.2019, VLA M-28021.

Hygrophorus agathosmus (Fr.) Fr. – II, еловый лес с кедровым стлаником, под елью среди зеленого мха, 27.08.2019, VLA M-27981.

H. erubescens (Fr.) Fr. – II, еловый лес с кедровым стлаником, на почве, 27.08.2019, VLA M-27211.

**H. melizeus* (Fr.) Fr. – VI, лиственный лес с кедровым стлаником, елью и кустарниковой березой, на почве среди *Cladonia* spp., 24.08.2019, VLA M-27212 (рис. 2, а).

H. piceae Kühner – V, еловый лес, на почве, 26.08.2019, собр. А.В. Богачева, VLA M-27979.

H. speciosus Peck – VI, лиственный лес с кедровым стлаником, елью и кустарниковой березой, на почве, 24.08.2019, VLA M-27230; V, еловый лес с лиственной, на почве среди мха, 26.08.2019, VLA M-27230.

Inocybe geophylla P. Kumm. – VI, лиственный лес с кедровым стлаником, елью и кустарниковой березой, на подстилке, 24.08.2019, VLA M-27268.

**Laccaria bicolor* (Maire) P.D. Orton – IV, заросли кедрового стланика с елью, кустарниковой березой, мож-

жевательником, рябиной и ольховником, на подстилке, 14.08.2019 и там же, кедровый стланик с елью и каменной березой, на почве, 22.08.2019, VLA M-27987; VI, лиственничный лес с кедровым стлаником, елью и кустарниковой березой, на подстилке, 24.08.2019, VLA M-27988.

L. laccata (Scop.) Cooke — VII, еловый лес, на подстилке, 11.08.2019, VLA M-27985; II, еловый лес с каменной березой, на подстилке, 12.08.2019, VLA M-27986; IV, еловый лес, на песчаной почве и заросли кедрового стланика с елью, кустарниковой березой, можжевельником, рябиной и ольховником, на подстилке, 14.08.2019, VLA M-27993; VI, лиственничный лес с кедровым стлаником, елью и кустарниковой березой, на подстилке, 24.08.2019, VLA M-27994.

**Lactarius alpinus* Peck — V, еловый лес с кедровым стлаником, ольховником и кустарниковой березой, на почве среди мха, 26.08.2019, VLA M-27271 (рис. 1, б).

**L. deterrimus* Gröger — IV, еловый лес с каменной березой, на почве, 22.08.2019, VLA M-27238; II, кедровый стланик с елью, на почве, 27.08.2019, VLA M-27238.

L. fulvissimus Romagn. — II, еловый лес, на почве, 12.08.2019, VLA M-27860.

L. glycosmus (Fr.) Fr. — IV, лес из каменной березы с кустарниковой березой, ольховником и елью, на почве, 14.08.2019, VLA M-27253; IV, кедровый стланик с елью, каменной березой, кустарниковой березой и ольховником, на почве, 22.08.2019, VLA M-27851; VI, лиственничный лес с кедровым стлаником, елью и кустарниковой березой, на почве среди зеленого мха, 24.08.2019, VLA M-27852.

L. lignyotus Fr. — II, еловый лес, на почве, 12.08.2019, VLA M-27208; IV, еловый лес, на почве, 14.08.2019, VLA M-27208, собр. А.В. Богачева; VI, лиственничный лес с кедровым стлаником, елью и кустарниковой березой, на почве, 24.08.2019, VLA M-27208.

L. porninsis Rolland — V, приморский луг с елью, кедровым стлаником, лиственницей и кустарниковой березой, на почве, 26.08.2019, VLA M-27854.

L. rufus (Scop.) Fr. — II, еловый лес, на почве, 12.08.2019, VLA M-27237; I, заросли кедрового стланика, на почве, 19.08.2019, VLA M-28022; VI, лиственничный лес с кедровым стлаником и кустарниковой березой, на почве, 24.08.2019, VLA M-28023.

L. trivialis (Fr.) Fr. — III, еловый лес с кустарниковой березой, на почве, 17.08.2019, VLA M-27255.

L. turpis (Weinm.) Fr. — VI, лиственничный лес с кедровым стлаником и кустарниковой березой, на почве, 24.08.2019, VLA M-27265.

L. vellereus (Fr.) Fr. — IV, заросли кедрового стланика с ольховником и кустарниковой березой, на почве, 14.08.2019, VLA M-27252.

L. vietus (Fr.) Fr. — IV, еловый лес с каменной березой, на почве, 22.08.2019, VLA M-27264.

Leccinum scabrum (Bull.) Gray — II, заросли кедрового стланика и кустарниковой березы, на почве, 12.08.2019, VLA M-27188.

L. variicolor Watling — IV, лес из каменной березы с кустарниковой березой, на почве, 22.08.2019, VLA M-27261.

L. versipelle (Fr.) Snell — VII, разреженные заросли кедрового стланика и кустарниковой березы, на почве под кустарниковой березой, 11.08.2019, VLA M-27178.

Lentinellus cochleatus (Pers.) P. Karst. — IV, лес из каменной березы с елью, на валежном стволе каменной березы, 22.08.2019, VLA M-27202.

Leucocortinarius bulbiger (Alb. et Schwein.) Singer — I, заросли кедрового стланика, на почве у тропы, 28.08.2019, ABGI 1427/159146.

**Lyophyllum decastes* (Fr.) Singer — VI, лиственничный лес с кустарниковой березой и кедровым стлаником, на подстилке, 24.08.2019, VLA M-27205.

Marasmius epiphyllus (Pers.) Fr. — II, еловый лес с каменной березой и ольховником, на стеблях хвоща, 12.08.2019, VLA M-27219, собр. А.В. Богачева; III, еловый лес с лиственницей, на сухих стеблях хвоща зимующего, 17.08.2019, VLA M-28024.

M. siccus (Schwein.) Fr. — II, лес из каменной березы с ольхой, рябиной и елью, на подстилке, 12.08.2019, VLA M-27228.

Mycena acicula (Schaeff.) P. Kumm. — II, еловый лес, на подстилке среди зеленого мха, 12.08.2019, VLA M-27248.

M. laevigata Gillet — III, еловый лес с лиственницей зеленомошной, на погребенной древесине, 17.08.2019, VLA M-27256.

M. pura (Pers.) P. Kumm. — I, заросли кедрового стланика, на подстилке, 19.08.2019, VLA M-27242; IV, еловый лес с каменной березой, на подстилке, 22.08.2019, VLA M-28025.

Neolentinus lepideus (Fr.) Redhead et Ginns — морское побережье в районе северной оконечности оз. Большое, 55°04'56.9" с.ш., 137°58'56.8" в.д., на древесине плавника, 14.08.2019, VLA M-27186.

Phaeomarasmius erinaceus (Fr.) Scherff. — IV, заросли кедрового стланика с ольховником, рябиной и кустарниковой березой, на сухой ветке ольховника, 22.08.2019, VLA M-27224.

Pholiota aurivella (Batsch) P. Kumm. — VI, смешанный лес, на древесине лиственного, 24.08.2019, VLA M-27269.

P. spumosa (Fr.) Singer — II, еловый лес, на валежной древесине, 12.08.2019, VLA M-28016; VI, лиственничный лес с кедровым стлаником, елью и кустарниковой березой, на валежной древесине, 25.08.2019, VLA M-27270.

Phyllotopsis nidulans (Pers.) Singer — VI, ивняк с ольхой, на сухостойном стволе ольхи, 24.08.2019, ABGI 1377/159145.

Pleurocybella porrigens (Pers.) Singer — VI, смешанный лес, на погребенной древесине, 25.08.2019, VLA M-27194.

Pleurotus pulmonarius (Fr.) Quéf. — II, еловый лес, на древесине, 12.08.2019, VLA M-27249.

Pluteus cervinus (Schaeff.) P. Kumm. — IV, еловый лес с каменной березой и рябиной, на древесине, 14.08.2019, VLA M-27234.

Rhodocollybia butyracea (Bull.) Lennox — IV, еловый лес с каменной березой, на подстилке, 22.08.2019, VLA M-27260.

R. maculata (Alb. et Schwein.) Singer — VI, лиственничный лес с кедровым стлаником и кустарниковой березой, на подстилке, 24.08.2019, VLA M-27206; V, еловый лес, на подстилке, 26.08.2019, VLA M-27417.

Rickenella fibula (Bull.) Raitheh. — I, заросли кедрового стланика, на подстилке среди зеленого мха, 19.08.2019, VLA M-27240; I, приморский луг с отдельными кустами кедрового стланика, на подстилке среди зеленого мха, 27.08.2019, VLA M-27240.

**R. swartzii* (Fr.) Kuiper — II, еловый лес, на подстилке среди зеленого мха, 12.08.2019, VLA M-27179; III, еловый лес, среди зеленого мха, 17.08.2019, VLA M-28026.

Roridomyces roridus (Fr.) Reher — IV, еловый лес с каменной березой, на подстилке, 22.08.2019, VLA M-27216.

Russula adusta (Pers.) Fr. — VII, разреженные заросли кедрового стланика и кустарниковой березы, на почве под кустарниковой березой, 11.08.2019, VLA M-27243; IV, заросли кедрового стланика с ольховником и кустарниковой березой, на почве, 14.08.2019, VLA M-28027; VI, лиственный лес с кедровым стлаником, елью и кустарниковой березой, на почве, 24.08.2019, VLA M-27244.

R. aeruginea Lindblad — II, еловый лес, на почве, 12.08.2019, VLA M-27918; IV, заросли кедрового стланика с ольховником и кустарниковой березой, на почве, 14.08.2019, VLA M-27853.

R. decolorans (Fr.) Fr. — I, заросли кедрового стланика, на почве, 19.08.2019, VLA M-27241; VI, лиственный лес с кедровым стлаником и кустарниковой березой, на почве, 24.08.2019, VLA M-28028.

R. emetica (Schaeff.) Pers. — VII, еловый лес, на почве, 11.08.2019, VLA M-27246; II, еловый лес, на почве, 12.08.2019, VLA M-27245; VI, еловый лес, на почве, 24.08.2019, VLA M-28029.

**R. rhodopus* Zvára — I, заросли кедрового стланика с ольховником, рябиной и кустарниковой березой, на почве, 13.08.2019, VLA M-27859.

**Stropharia pseudocyanea* (Desm.) Morgan — III, еловый лес с лиственницей, на подстилке среди травы, 17.08.2019, VLA M-27258 (рис. 2, д).

Suillus cavipes (Klotzsch) A.H. Sm. et Thiers — VI, лиственный лес с кедровым стлаником, елью и кустарниковой березой, на почве, 24.08.2019, VLA M-27185.

S. grevillei (Klotzsch) Singer var. *clintonianus* (Peck) Singer — VI, лиственный лес с кедровым стлаником, на почве, 24.08.2019, VLA M-27416.

S. ochraceoroseus (Snell) Singer — III, еловый лес с лиственницей зеленомошный, на почве среди зеленого мха, 17.08.2019, VLA M-27181 (рис. 1, в). Известны находки этого вида из северной части Хабаровского края (Zvyagina et al., 2022).

S. spraguei (Berk. et M.A. Curtis) Kuntze [= *Boletinus pictus* Peck] — I, заросли кедрового стланика, на почве, 10.08.2019, VLA M-27222. Согласно недавним молекулярным исследованиям (Zhang et al., 2017), *S. spraguei* s. str. обитает в Северной Америке, а в Восточной Азии — морфологически не отличимый от него *S. phylopietus* R. Zhang, X.F. Shi, P.G. Liu et G.M. Mueller. Однако, для маслят существенным диагностическим признаком является ассоциированная древесная порода. В указанной работе были изучены образцы грибов из Китая и Японии, собранные под *Pinus koraiensis* и под пятихвойными соснами с ареалами в Китае и более южных странах Восточной Азии — *P. armandii* и *P. kwangtungensis*. На территории России, вне ареала *P. koraiensis*, *Suillus spraguei* (в прежнем понимании) отмечается с *Pinus sibirica* (Gorbunova, 2010; Filippova et al., 2015; Zvyagina, Baykalova, 2017; Palamarchuk, 2018; Ageev, Bulyonkova, 2023), *P. sylvestris* (Tarantina, 2005; Sazanova, Golodnova, 2015), *P. pumila* (Vassiljeva, Nazarova, 1972; Sazanova, 2009), а также с *Abies* sp. (Penzina, Petrov, 1994). Ввиду вышеизложенного, наши образцы мы рассматриваем на сегодняшний день как *Suillus spraguei* s.l.

S. placidus (Bonord.) Singer — I, заросли кедрового стланика, на почве, 19.08.2019, VLA M-27997.

**S. punctipes* (Peck) Singer — I, заросли кедрового стланика, на почве под кедровым стлаником, 14.08.2019, VLA M-27221.

S. viscidus (L.) Roussel — VI, лиственный лес с кедровым стлаником, елью и кустарниковой березой, на почве, 25.08.2019, VLA M-27184.

**Tricholoma pessundatum* (Fr.) Quél. — I, заросли кедрового стланика, на подстилке, 14.08.2019, VLA M-27204.

T. vaccinum (Schaeff.) P. Kumm. — III, еловый лес с лиственницей зеленомошный, на почве, 17.08.2019, VLA M-27203.

Tricholomopsis decora (Fr.) Singer — III, еловый лес с лиственницей, на корнях выворотня ели, 17.08.2019, VLA M-27207, собр. А.В. Богачева; V, еловый лес, на подстилке среди мха, 26.08.2019, VLA M-27418.

**T. flammula* Métrod ex Holec — II, долина реки, кустарничково-разнотравный луг, на подстилке среди шикши, 27.08.2019, VLA M-27201 (рис. 2, е).

**Xerocomus ferrugineus* (Schaeff.) Alessio — IV, еловый лес с каменной березой, на почве и на пне хвойного, 22.08.2019, VLA M-27220; VI, лиственный лес с кедровым стлаником, на почве, 24.08.2019, VLA M-27199.

Xeromphalina campanella (Batsch) Kühner et Maire — VI, лиственный лес с кедровым стлаником, на пне лиственницы, 24.08.2019, VLA M-27226.

X. caucinalis (Fr.) Kühner et Maire — VI, лиственный лес с кедровым стлаником и елью, на подстилке, 24.08.2019, VLA M-27225.

В настоящем сообщении приведены сведения о 103 видах, впервые выявленных на Шантарских о-вах (из них 21 вид — новые для Хабаровского края). С учетом ранее опубликованных, всего для ООПТ известно 105 видов агарикоидных базидиомицетов. В связи со сложной транспортной схемой и погодными условиями продолжительность собственно полевых работ месячной экспедиции составила лишь восемь полных дней (с немногочисленными сборами в другие дни). Полученные нами данные могут рассматриваться лишь как первые сведения о микобиоте национального парка.

Шантарские о-ва — географически наиболее северная территория в Хабаровском крае, где проводились целенаправленные микологические исследования (Ерофеева, 2022). Суровость природных условий усугубляется переменчивостью морской погоды и локальными особенностями климата: А.Ф. Миддендорф отмечал, что растительность Шантарских о-вов отстает в своем развитии от растительности ближайших материковых участков на 1–2 месяца (Shlotgauer, Kryukova, 2005). Такие новые для региона виды, как *Cortinarius acutus*, *C. bivelus*, *C. traganus*, *Chromosera lilacina*, *Laccaria bicolor*, на российском Дальнем Востоке ранее были известны только из более северных районов — Магаданской обл., Камчатки, Чукотки, Якутии и из таежной зоны Амурской обл.

Amanita contui приводится для региона впервые, по всей вероятности, лишь потому, что его зачатую смешивали с *A. crocea* (Quél.) Singer (Ageev, Bulyonkova, 2022). Для лесов с участием *Betula* spp. в южной части Хабаровского края находки *A. contui* достаточно обычны. Аналогично, и *Armillaria borealis* ранее мог смешиваться с *A. mellea* (Vahl) P. Kumm., *Lactarius deterrimus* — с *L. deliciosus* (L.)

Gray, *Suillus punctipes* – с *S. plorans* (Rolland) Kuntze, *Tricholomopsis flammula* – с *T. rutilans* (Schaeff.) Singer, а *Xerocomus ferrugineus* – с *X. subtomentosus* (L.) Quéf.

Для дальнейших микологических исследований наиболее перспективными представляются склоны и распадки южной экспозиции, экранированные от резких северных ветров, на крупных островах Шантарского архипелага; на о. Б. Шантар это – долины рек, впадающих в губу Якшина. Такие локации, занятые смешанными лесами с участием *Alnus hirsuta*, *Betula platyphylla*, *Populus maximowiczii*, *P. suaveolens*, *P. tremula*, различных видов ив (Shlotgauer, Крюкова, 2005, 2012), нашими маршрутами были затронуты лишь в минимальной степени, либо не затронуты вовсе – также как и древесные насаждения речных галечных кос, и горно-тундровая зона.

Авторы выражают глубокую признательность администрации ФГБУ “Заповедное Приамурье” и лично В.А. Андронову за осуществление научной экспедиции в такой удаленный и труднодоступный район, как Шантарские о-ва. Благодарим сотрудников отдела охраны за содействие в проведении полевых работ, д.б.н. А.В. Богачеву – за участие в сборе гербарного материала, к.б.н. Н.А. Сазанову – за консультации при определении *Suillus ochraceoroseus*. Работа Е.А. Ерофеевой выполнена в рамках государственного задания ИКАРП ДВО РАН, работа Е.М. Булах – в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 121031000117-9), работа Н.А. Кочуновой – в рамках государственного задания БСИ ДВО РАН (тема № 122040800085-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ageev D.V., Bulyonkova T.M. *Amanita flavescens*. In: Griby Sibiri. 2022. <https://mycology.su/amanita-flavescens.html>. Accessed 16.04.2022 (in Russ.).
- Ageev D.V., Bulyonkova T.M. *Suillus spraguei*. In: Griby Sibiri. 2023. <https://mycology.su/mycology.su/suillus-spraguei.html>. Accessed 05.03.2023 (in Russ.).
- Bogacheva A.V. Data on discomycetes of the Shantar Islands (Khabarovsk Territory). *Mikologiya i fitopatologiya*. 2021. V. 55 (3). P. 157–164 (in Russ.). <https://doi.org/10.31857/S002636482103003X>
- Bogacheva A.V., Erofeeva E.A., Kochunova N.A. First results on study of the Shantar Islands mycobiota. In: Komarov's Memorial Readings. 2020. V. 68. P. 121–126 (in Russ.). <https://doi.org/10.25221/kl.68.8>
- Bolshakov S., Kalinina L., Palomozhnykh E. et al. Agaricoid and boletoid fungi of Russia: the modern country-scale checklist of scientific names based on literature data. *Biological Communications*. 2021. V. 66 (4). P. 316–325. <https://doi.org/10.21638/spbu03.2021.404>
- Erofeeva E.A. Basidiomycetous macrofungi in specially protected natural areas of the Khabarovsk Territory. *Regionalnye problemy*. 2022. V. 25 (2). P. 38–49 (in Russ.). <https://www.doi.org/10.31433/2618-9593-2022-25-2-38-49>
- Erofeeva E.A., Bukharova N.V., Kochunova N.A. et al. To the rare basidiomycetes Red List of the Khabarovsk territory. *Mikologiya i fitopatologiya*. 2021. V. 55 (2). P. 119–128 (in Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0026364821020033>
- Filippova N.V., Bulyonkova T.M., Lapshina E.D. Fleshy fungi forays in the vicinities of the YSU Mukhrino field station (Western Siberia). *Environmental Dynamics and Global Climate Change*. 2015. V. 6 (1). P. 3–31. <https://doi.org/10.17816/edgcc613-31>
- GBIF. The Global Biodiversity Information Facility. 2023. <https://www.gbif.org/what-is-gbif>. Accessed 23.04.2023.
- Gorbunova I.A. Macromycetes of alpine area of Altai. *Turczaninowia*. 2010. V. 13 (3). P. 125–134 (in Russ.).
- Index Fungorum. CABI Bioscience, 2023. <http://www.indexfungorum.org/>. Accessed 24.04.2023.
- Nechaev A.P. Shantar Islands. In: Problems of the Far East geography. V. 2. Khabarovsk, 1955, pp. 18–35 (in Russ.).
- Palamarchuk M.A. Species diversity of genus *Suillus* Gray in the Pechoro-Ilych Reserve. *Trudy Pechoro-Ilychskogo gosudarstvennogo zapovednika*. 2015. V. 17. P. 125–129 (in Russ.).
- Palamarchuk M.A. Species of the genus *Suillus* Gray – mycorrhizal with *Pinus sibirica* Du Tour. *Vestnik Insituta biologii Komi nauchnogo tsentra Uralskogo otdeleniya RAN*. 2018. V. 2. P. 14–18 (in Russ.). [https://doi.org/10.31140/j.vestnikib.2018.2\(204\).3](https://doi.org/10.31140/j.vestnikib.2018.2(204).3)
- Palamarchuk M.A., Kirillov D.V. New data on the genus *Tricholomopsis* (Agaricales) in the Russian European North-East. *Mikologiya i fitopatologiya*. 2014. V. 48 (1). P. 31–36 (in Russ.).
- Penzina T.A., Petrov A.N. The macromycetes of Northern Baikal region. *Mikologiya i fitopatologiya*. 1994. V. 28 (4). P. 10–14 (in Russ.).
- Rebriev Yu.A., Bogacheva A.V., Bukharova N.V. et al. New species of macromycetes for regions of the Russian Far East. 4. *Mikologiya i fitopatologiya*. 2023. V. 57 (4). P. 281–290. <https://doi.org/10.31857/S0026364823040104>
- Sazanova N.A. Macromycetes of the Magadan Region. Magadan, 2009 (in Russ.).
- Sazanova N.A., Golodnova E.V. Species diversity of macrofungi from artificial stands of the common pine (*Pinus sylvestris*) in the surroundings of Magadan. *Bulletin of the North-East Scientific Center of the Russian Academy of Sciences Far East Branch*. 2015. V. 3. P. 77–85 (in Russ.).
- Shlotgauer S.D., Kryukova M.V. Flora of protected territories of the coast of the Russian Far East: Botchinsky and Dzhugdzhursky Nature Reserves, Shantarsky Zakaznik. Nauka, Moscow, 2005 (in Russ.).
- Shlotgauer S.D., Kryukova M.V. Shantar Islands vegetation. *Geografiya i prirodnye resursy*. 2012. V. 3. P. 110–114 (in Russ.).
- Taranina N.A. Agaricoid basidiomycetes of forest stow “Muhinka” (Amur Region). *Mikologiya i fitopatologiya*. 2005. V. 39 (5). P. 55–63 (in Russ.).
- Vassiljeva L.N., Nazarova M.M. Materials on the agaric fungi flora of South Sakhalin. In: *Algae and fungi of Siberia and Far East*. Novosibirsk, 1972, pp. 100–107 (in Russ.).
- Zhang R., Mueller G.M., Shi X., Liu P. Two new species in the *Suillus spraguei* complex from China. *Mycologia*. 2017. V. 109 (2). P. 296–307. <https://doi.org/10.1080/00275514.2017.1305942>
- Zvyagina E.A., Baykalova A.S. New records to the fungal biodiversity list of the Yuganskiy Nature Reserve (Western Siberia). *Environmental Dynamics and Global Cli-*

- mate Change. 2017. V. 8 (1). P. 25–42 (in Russ.).
<https://doi.org/10.17816/edgcc8125-42>
- Zvyagina E.A., Sazanova N.A. The first record of *Suillus glandulosus* (Suillaceae) in Russia from Magadan Region. Mikologiya i fitopatologiya. 2022. V. 56 (1). P. 16–21. <https://www.doi.org/10.31857/S0026364822010147>
- Zvyagina E.A., Sazanova N.A., Bulyonkova T.M. *Suillus paluster* and *S. ochraceoroseus* (Boletales) in North Asia. Mikologiya i fitopatologiya. 2022. V. 56 (5). P. 332–349. <https://www.doi.org/10.31857/S0026364822050129>
- Агеев Д.В., Бульонкова Т.М. (Ageev, Bulyonkova) Поплавок желтеющий (*Amanita flavescens*) – Грибы Сибири. <https://mycology.su/amanita-flavescens.html>.
- Агеев Д.В., Бульонкова Т.М. (Ageev, Bulyonkova) Масленок Спрэга (*Suillus spraguei*) – Грибы Сибири. <https://mycology.su/suillus-spraguei.html>.
- Богачева А.В. (Bogacheva) Сведения о дискомицетах Шантарских островов (Хабаровский край) // Микология и фитопатология. 2021. Т. 55. № 3. С. 157–164.
- Богачева А.В., Ерофеева Е.А., Кочунова Н.А. (Bogacheva et al.) Первые результаты изучения микобиоты Шантарских островов // Комаровские чтения. 2020. Вып. 68. С. 121–126.
- Васильева Л.Н., Назарова М.М. (Vassiljeva, Nazarova) Материалы к флоре агариковых грибов Южного Сахалина // Водоросли и грибы Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск: Наука, 1972. С. 100–107.
- Горбунова И.А. (Gorbunova) Макромицеты альпийской области Алтая // Turczaninowia. 2010. Т. 13. № 3. С. 125–134.
- Ерофеева Е.А. (Erofeeva) Базидиальные макромицеты на особо охраняемых природных территориях Хабаровского края // Региональные проблемы. 2022. Т. 25. № 2. С. 38–49.
- Ерофеева Е.А., Бухарова Н.В., Кочунова Н.А. и др. (Erofeeva et al.) Новые сведения о редких охраняемых видах базидиомицетов Хабаровского края // Микология и фитопатология. 2021. Т. 55. № 2. С. 119–128.
- Звягина Е.А., Байкалова А.С. (Zvyagina, Baykalova) Дополнение к списку макромицетов заповедника “Юганский” (Западная Сибирь) // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 2017. Т. 8. № 1. С. 25–42.
- Нечаев А.П. (Nechaev) Шантарские острова // Вопросы географии Дальнего Востока. Вып. 2. Хабаровск, 1955. С. 18–35.
- Паламарчук М.А. (Palamarchuk) Видовое разнообразие рода *Suillus* Gray (масленок) в Печоро-Ильчском заповеднике // Труды Печоро-Ильчского заповедника. 2015. Вып. 17. С. 125–129.
- Паламарчук М.А. (Palamarchuk) Виды рода *Suillus* Gray – микоризообразователи с *Pinus sibirica* Du Tour // Вестник ИБ Коми НЦ УрО РАН. 2018. № 2. С. 14–18.
- Паламарчук М.А., Кириллов Д.В. (Palamarchuk, Kirillov) Материалы к изучению рода *Tricholomopsis* (Agaricales) на европейском северо-востоке России // Микология и фитопатология. 2014. Т. 48. № 1. С. 31–36.
- Пензина Т.А., Петров А.Н. (Penzina, Petrov) Макромицеты северного Прибайкалья // Микология и фитопатология. 1994. Т. 28. № 4. С. 10–14.
- Сазанова Н.А. (Sazanova) Макромицеты Магаданской области. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2009. 196 с.
- Сазанова Н.А., Голоднова Е.В. (Sazanova, Golodnova) Видовое разнообразие макромицетов искусственных насаждений сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) в окрестностях г. Магадана // Вестник СВНЦ ДВО РАН, 2015, № 3. С. 77–85.
- Таранина Н.А. (Taranina) Агарикоидные базидиомицеты лесного урочища “Мухинка” (Амурская область) // Микология и фитопатология. 2005. Т. 39. № 5. С. 55–63.
- Шлотгауэр С.Д., Крюкова М.В. (Shlotgauer, Kryukova) Флора охраняемых территорий побережья российского Дальнего Востока: Ботчинский, Джугджурский заповедники, Шантарский заказник. М.: Наука, 2005. 264 с.
- Шлотгауэр С.Д., Крюкова М.В. (Shlotgauer, Kryukova) Растительный покров Шантарских островов // География и природные ресурсы. 2012. № 3. С. 110–114.

New Data on Agaricoid Basidiomycetes of the Shantar Islands National Park (Khabarovsk Territory, Russia)

E. A. Erofeeva^{a, #}, E. M. Bulakh^b, and N. A. Kochunova^{c, ##}

^aInstitute for Complex Analysis of Regional Problems of the Far East branch of the Russian Academy of Sciences, Birobidzhan, Russia

^bFederal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

^cAmur Branch of Botanical Garden-Institute FEB RAS, Blagoveshchensk, Russia

[#]e-mail: gladdis@yandex.ru

^{##}e-mail: taraninan@yandex.ru

The Shantar Islands is an archipelago in the western part of the Sea of Okhotsk, at a distance of about 50 km from the mainland coast. In August 2019, we have carried out mycological studies on the islands of Bolshoi Shantar and Prokofiev. An annotated list is given of 103 species first found in the national park; 21 species of them were found in Khabarovsk Territory for the first time. The Shantar Islands are geographically the northernmost area in the Khabarovsk Territory, where specialized mycological studies were carried out. Such new species for the region as *Cortinarius acutus*, *C. bivelus*, *C. traganus*, *Chromosera lilacina*, *Laccaria bicolor*, in the Russian Far East were previously known only from more northern regions: Magadan Region, Kamchatka, Chukotka, Yakutia and from the taiga zone of Amur Region. Taking into account previously published data, a total of 105 species of agaricoid basidiomycetes are known for the national park.

Keywords: basidiomycetous macrofungi, biodiversity, Russian Far East, specially protected natural area

УДК 582.284 : 581.95(470.13)

НОВЫЕ ДАННЫЕ О РАСПРОСТРАНЕНИИ *PLEUROTUS ABIETICOLA* (*AGARICALES, BASIDIOMYCOTA*) НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

© 2023 г. М. А. Паламарчук^{1,*}, Д. В. Кириллов^{1,**}, Д. М. Шадрин^{1,***}

¹Институт биологии Коми научного центра УрО РАН, 167982 Сыктывкар, Россия

*e-mail: palamarchuk@ib.komisc.ru

**e-mail: kirdimka@mail.ru

***e-mail: shdimas@yandex.ru

Поступила в редакцию 05.04.2023 г.

После доработки 15.05.2023 г.

Принята к публикации 23.05.2023 г.

Приводятся сведения о находках *Pleurotus abieticola* на территории северо-востока европейской части России и западного макросклона Северного Урала в границах Республики Коми (Россия). *P. abieticola* – редкий вид, встречается в Европе (Чехия, Польша, Финляндия, Россия), Азии (Восточная Сибирь, Дальний Восток, Китай, Корея) и Северной Америке (Аляска). В России известны несколько местонахождений в Ленинградской области, Красноярском и Приморском краях. Сравнение полученных нуклеотидных последовательностей ITS нескольких собранных образцов *P. abieticola* с данными, депонированными в международную базу GenBank, показало 98.2–100%-е сходство с образцами *P. abieticola* из других частей ареала (Южная Сибирь, Дальний Восток, Китай). В статье представлено описание плодовых тел, приведены фотографии микроструктур, уточнены особенности морфологии, даются сведения о распространении и экологии этого вида.

Ключевые слова: биоразнообразие, национальный парк “Югыд ва”, особо охраняемые природные территории, Печоро-Илычский заповедник, Республика Коми, Урал, ITS

DOI: 10.31857/S0026364823060065, **EDN:** BMEOFO

ВВЕДЕНИЕ

Род *Pleurotus* (Fr.) P. Kumm (*Pleurotaceae, Agaricales, Basidiomycota*) насчитывает около 30 видов и внутривидовых таксонов, также известных как вешенки (Kirk et al., 2008; Venturella et al., 2015; Li et al., 2020). Род объединяет виды с плевротоидными плодовыми телами, развивающимися одиночно или группами на живой или мертвой древесине лиственных, реже хвойных видов деревьев. Виды рода *Pleurotus* имеют важное практическое значение, многие виды культивируют и выращивают в промышленных масштабах.

Для территории России к настоящему времени известно 16 видов рода *Pleurotus*, в регионах европейского северо-востока России отмечено от двух до шести видов (Bolshakov et al., 2021). Наиболее широкое распространение имеют *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. и *P. pulmonarius* (Fr.) Quél. На территории Республики Коми выявлено четыре представителя рода: *P. calyptratus* (Lindblad ex Fr.) Sacc., *P. cornucopiae* (Paulet) Rolland, *P. ostreatus*, *P. pulmonarius* (Palamarchuk, Kirillov, 2017; Palamarchuk, 2020). Плодовые тела перечисленных видов развиваются преимущественно на древесине лиственных пород (Knudsen, Vesterholt, 2008).

Одним из представителей рода *Pleurotus*, плодовые тела которого образуются на древесине хвойных пород деревьев, является *P. abieticola* R.H. Petersen et K.W. Hughes. Согласно данным литературы, вид довольно редкий. В базе данных по биологическому разнообразию GBIF (2023) содержатся сведения только о 39 находках этого вида. *P. abieticola* был описан в 1997 г. на основании двух образцов, собранных на валеже *Abies nephrolepis* с Дальнего Востока России (Petersen, Hughes, 1997). Позже этот вид был обнаружен на северо-западе России (Ленинградская обл., Нижнесви́рский заповедник) и в Китае (Albertó et al., 2002). Совсем недавно вид отмечен в Южной Сибири (Malysheva et al., 2022).

В коллекции грибов гербария Института биологии Коми НЦ УрО РАН (SYKOf) хранится несколько образцов рода *Pleurotus*, собранных на валеже *Picea* и *Abies*. На основании морфологических признаков они были определены как *P. abieticola*. Проведенный молекулярно-генетический анализ последовательностей ITS (ITS1–5.8S–ITS2) данных образцов подтвердил их таксономическую принадлежность. Все находки сделаны на территории северо-востока европейской части России и западном макросклоне Северного Урала в грани-

цах Республики Коми. В статье представлено описание плодовых тел, уточнены отличительные особенности морфологии, приведены иллюстрации микроструктур, даются сведения о распространении и экологии этого вида.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для данной статьи послужили образцы рода *Pleurotus*, хранящиеся в гербарии Института биологии Коми НЦ УрО РАН (SYKOF). Все они были собраны в результате полевых исследований в 2002–2022 гг. в Вуктыльском, Троицко-Печорском и Сыктывдинском р-нах Республики Коми. Для мест сбора образцов определяли географические координаты в системе WGS 84. Материал гербаризировали по стандартной методике (Geltman, 1995; Mueller et al., 2004). Описание макропризнаков плодовых тел проводили в полевых условиях на свежих образцах. Камеральные работы по идентификации образцов осуществляли в отделе флоры и растительности Севера Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Микроскопические признаки базидиом изучали с использованием традиционных реактивов (5%-й р-р КОН). Размеры всех микроструктур оценивались на основании не менее 20 измерений для каждого образца. В описании спор коэффициент Q определен как отношение длины споры к ее ширине, звездочкой помечено его среднее значение. Изображения микроморфологических признаков получены цифровой камерой Motisam S12 на микроскопе Olympus CX43 (Olympus, Япония).

Тотальную ДНК из высушенных образцов грибов выделяли с помощью набора “ДНК-Экстран-3” (Синтол, Россия), в соответствии с инструкциями производителя. Полимеразную цепную реакцию (ПЦР) проводили в 50 мкл смеси, содержащей 10 мкл Screen Mix (Евроген, Россия), 10 мкл каждого праймера (0.3 мкМ) (Евроген, Россия), 18 мкл ddH₂O (Панэко, Россия) и 2 мкл ДНК-матрицы (1–100 нг). Последовательности ITS яДНК амплифицировали с использованием праймеров ITS-1F (5'-CTTGGTCATTTAGAGGAAGTAA-3') и ITS-4B (5'-TCCTCCGCTATGATATGC-3'), общепринятых для базидиальных грибов (Gardes, Bruns, 1993).

Амплификация ITS фрагмента включала предварительную денатурацию в течение 5 мин при температуре 95°C и далее 35 циклов, включающие: денатурацию 60 с при температуре 95°C, отжиг праймеров 30 с при температуре 55°C и элонгацию 40 с при температуре 72°C, с окончательной элонгацией 5 мин при температуре 72°C. Продукты реакции амплификации разделяли методом электрофореза в 1.3%-м агарозном геле в 1 × TAE (триацетатном) буферном р-ре с бромистым этидием, для визуализации использовали трансиллюминатор UVТ-1 (Биоком, Москва). В качестве маркера

длины фрагментов ДНК использовали 100 bp Ladder DNA marker (100 bp–1000 bp) (Евроген, Россия). Для очистки полученного продукта реакции амплификации использовали набор ColGen (Синтол, Россия). Концентрацию ДНК и ПЦР продуктов измеряли на флуориметре Qubit 3 (Invitrogen, США). Секвенирование проводилось с использованием набора реагентов ABI Prism BigDye Terminator v. 3.1 на приборе “Нанофор 05” (Синтол, Россия).

Нуклеотидные последовательности выравнивали с помощью онлайн-сервиса MAFFT version 7 (Katoh et al., 2019) и редактировали вручную в программном пакете Mega 7.0 (Kumar et al., 2016). Филогенетическое дерево было построено в том же пакете программ методом максимального правдоподобия (ML) с использованием модели Tamura-Nei (Tamura, Nei, 1993) с расчетом бутстреп-поддержек узлов ветвления (1000 репликаций). Клады считались достоверно независимыми эволюционными линиями, если бутстреп-значения составляли ≥60%. Полученные в результате работ нуклеотидные последовательности были депонированы в международную базу GenBank под номерами OP821377–OP821380. В качестве сравнительного материала были использованы общедоступные ITS последовательности видов рода *Pleurotus*, взятые из международной базы GenBank (табл. 1). В качестве внешней группы использовали последовательности *Hohenbuehelia auriscalpium* (Maire) Singer (Liu et al., 2016; Li et al., 2020).

Молекулярно-генетические исследования проводили с использованием оборудования ЦКП “Молекулярная биология” Института биологии Коми НЦ УрО РАН.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Морфологическое описание и гербарная документация

Pleurotus abieticola R.H. Petersen et K.W. Hughes, *Mycologia* 89 (1): 175, 1997 (рис. 1, 2).

Плодовое тело плевротоидного типа. Шляпка 4–8 см в диам., уховидная, лопастная, сначала выпуклая, с подогнутым краем, затем почти распростертая. Поверхность шляпки гладкая, гигрофанная, иногда по краю слегка радиально-полосатая, серая, серовато-коричневая, подсыхая – бежевая, матовая. Пластинки низбегающие на ножку, белые. Ножка эксцентрическая или боковая, короткая, иногда почти редуцированная, 0.7–1 см дл., 0.5–1 см толщ., белая.

Базидии четырехспоровые, 25–40 × (5)5.5–7.5 мкм, узкобулавовидные. Споры (6.5)7.5–12(12.6) × 3–5(5.5) мкм, цилиндрические, средний размер спор 9.6 × 4.1 мкм, Q = 1.8–3(3.4) (Q* = 2.3). Хейлоцистиды цилиндрические, веретеновидные, булавовидные, преимущественно септированные, верхняя клетка иногда булавовидно расширена, веретеновидная или с немного зауженной вершиной, (18)22–60(65) × (4)5–10(18) мкм. Плевроцистиды отсутствуют. Трама пластинок мономитическая, состоит из неравномерно переплетенных, более или

Таблица 1. Список образцов, использованных при филогенетическом анализе

Наименование таксона	Номер сиквенса в GenBank (ITS)	Гербарный номер образца	Место сбора образца
<i>Pleurotus abieticola</i>	OP821377	SYKOf 4243	Россия: Коми
“ ”	OP821378	SYKOf 2604	Россия: Коми
“ ”	OP821379	SYKOf 2971	Россия: Коми
“ ”	OP821380	SYKOf 411	Россия: Коми
“ ”	MG720573	LE-BIN 3551	Россия: Вост. Саяны
“ ”	KP771695	HKAS 46100	Китай: Тибет
“ ”	KP771697	HKAS 45570	Китай: Сычуань
“ ”	U59326	TENN 52358	Россия: Приморский край
“ ”	AY450348	TENN 52359	Россия: Приморский край
“ ”	KP771696	HKAS 45720	Китай: Тибет
“ ”	MN546040	HKAS 89541	Китай: Ганссу
“ ”	MN546039	HKAS 89521	Китай: Сычуань
“ ”	MK209085	3509	Китай
“ ”	AF345656	TENN 58284	Россия: Ленинградская обл.
<i>P. eryngii</i>	LC713435	—	Япония
“ ”	OL687127	ATCC 90797	—
<i>P. ostreatus</i>	LC149608	B2SN043	Непал
“ ”	ON561413	PUL00031410	США: Индиана
“ ”	MT778806	NSK 1014412	Россия: Новосибирск
“ ”	ON869370	NSK 1017137	Россия: Новосибирск
“ ”	MT778817	NSK 1014416	Россия: Новосибирск
“ ”	MT778826	NSK 1014430	Россия: Алтай
<i>P. pulmonarius</i>	KU612947	CCMSSC00500	Греция
“ ”	MT437071	MO 284485	США: Аризона
“ ”	AY696299	HMA S76672	Китай
“ ”	MN546036	HKA S56524	Германия
<i>Hohenbuehelia auriscalpium</i>	KT388023	WU 19457	Австрия

Примечание: полужирным шрифтом выделены номера новых депонированных последовательностей, полученных в рамках данного исследования.

менее тонкостенных гиалиновых гиф. Пилеипеллис — кутикс.

Изученные образцы: Россия, Республика Коми, Вуктыльский р-н, национальный парк “Югыд ва”, бассейн нижнего течения р. Шугор, р-н Нижних ворот, левый берег, 1.5 км вверх по реке от ворот, 64.215039° с.ш., 58.000114° в.д., пихтово-еловый зеленомошный лес, на валеже ели, собр. М.А. Паламарчук, Д.В. Кириллов, 15.08.2016 (SYKOf 2575), ранее опубликован как *P. ostreatus* (Palamarchuk, Kirillov, 2018); там же, 64.21347° с.ш., 57.96326° в.д., елово-пихтовый зеленомошный лес, на валеже ели, собр. М.А. Паламарчук, 12.08.2016 (SYKOf 2604, GenBank OP821378); бассейн р. Подчерем, окрестности д. Орловка, 63.926747° с.ш., 57.905418° в.д., пихтово-еловый зеленомошный лес, на валеже ели, собр. М.А. Паламарчук, 19.08.2017 (SYKOf 4040). — Троицко-Печорский р-н, Печоро-Ильчский заповедник, хребет Поясовый Камень, исток р. Печора, 62.222512° с.ш., 59.400031° в.д., пихтово-елово-березовый разнотравный лес, на валеже ели, собр. М.А. Пала-

марчук, 05.08.2018 (SYKOf 2971, GenBank OP821379); хребет Яныпупунер, окрестности стационара заповедника, 62.083528° с.ш., 59.092407° в.д., елово-пихтовый папоротниково-разнотравный лес, на еловом пне, собр. М.А. Паламарчук, 28.08.2010 (SYKOf 4243, GenBank OP821377); 6 км вверх по р. Печора от кордона Шежим-Печорский, окрестности стационара Гаревка Левобережная, 62.060902° с.ш., 58.467800° в.д., ельник чернично-зеленомошный, на стволе ели, собр. М.А. Паламарчук, 14.08.2002 (SYKOf 411, GenBank OP821380), ранее опубликован как *P. ostreatus* (Palamarchuk, 2009); окрестности пос. Якша, 61.825076° с.ш., 56.843226° в.д., ельник чернично-зеленомошный, на валеже пихты, собр. М.А. Паламарчук, 24.06.2002 (SYKOf 4332). — Сыктывдинский р-н, бассейн ручья Убшор, окрестности местечка Соколовка, 61.538775° с.ш., 50.602253° в.д., ельник чернично-зеленомошный, на валеже ели, собр. М.А. Паламарчук, 05.10.2022 (SYKOf 4315).

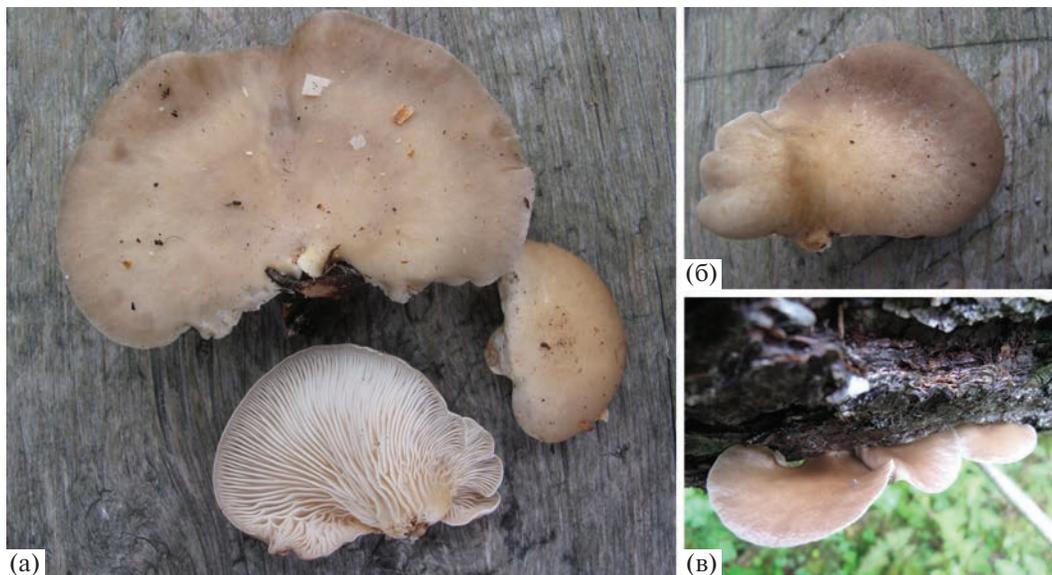


Рис. 1. Базидиомы *Pleurotus abieticola*: а–б – SYKOf 4243; в – SYKOf 2575.

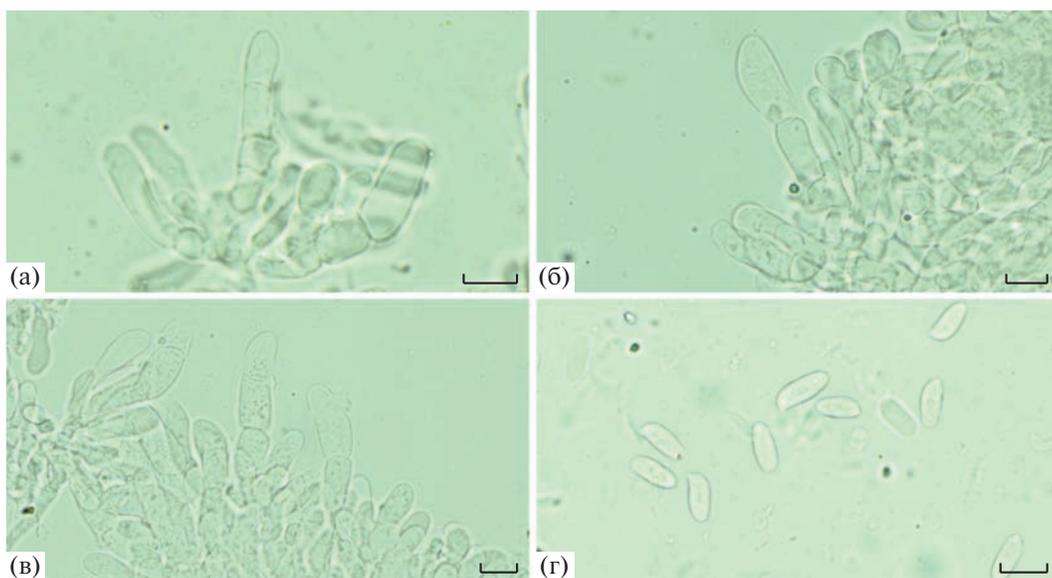


Рис. 2. Микроструктура *Pleurotus abieticola*: а–в – хейлоцистиды (а – SYKOf 2971, б – SYKOf 411, в – SYKOf 4243), г – споры (SYKOf 4332). Масштаб – 10 мкм.

Экология и распространение

Согласно данным литературы, вид встречается в хвойных и смешанных лесах, на валежных стволах *Picea* и *Abies*, только один раз собран предположительно на *Alnus* или *Salix* (Petersen, Hughes, 1997; Albertó et al., 2002; Liu et al., 2015). Все наши находки *P. abieticola* на территории Республики Коми были сделаны в хвойных лесах зеленомошного и травяного типов, на валеже и пнях *Picea* и *Abies*.

Вид встречается в Европе (Чехия, Польша, Финляндия, Россия), Азии (Восточная Сибирь, Дальний Восток, Китай, Корея) и Сев. Америке (Аляска) (Petersen, Hughes, 1997; Albertó et al., 2002; Liu et al., 2015; Li et al., 2020; Malysheva et al., 2022; GBIF, 2023) (рис. 3). В России известны находки из Ленинградской обл. (Нижнесвирицкий заповедник) (Albertó et al., 2002), Красноярского края (Саяно-Шушенский заповедник) (Malysheva et al., 2022) и Приморского края (Сихотэ-Алинский биосферный заповедник) (Petersen, Hughes, 1997).



Рис. 3. Распространение *Pleurotus abieticola*. Знаком круга отмечены литературные данные, знаком треугольника – новые данные, представленные в настоящем исследовании.

Филогенетический анализ

В результате филогенетического анализа, проведенного на основании сравнения нуклеотидных последовательностей ITS, полученных из четырех образцов из Республики Коми и 22 последовательностей близких к ним видов рода *Pleurotus*, полученных из базы GenBank, построено филогенетическое дерево (рис. 4). На филограмме хорошо дифференцируются четыре больших клада, соответствующие видам рода *Pleurotus*: *P. abieticola*, *P. ostreatus*, *P. eryngii* и *P. pulmonarius* (рис. 4). Эти клады имеют высокие значения бутстреп-поддержки (> 60%) и объединяют последовательности образцов, идентифицированных как один вид. Все полученные нами последовательности ITS образцов *P. abieticola* из Республики Коми вошли в кладу, объединяющую образцы *P. abieticola* из других частей ареала, что позволяет с достоверностью отнести анализируемые образцы к этому виду.

Сравнительный анализ соответствия с помощью инструмента BLAST (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov>) показал наибольшее сходство (99.9–100%) последовательностей ITS образцов *P. abieticola* из Республики Коми с образцом *P. abieticola* AY450348 (TENN 52359) с Дальнего Востока России, который был указан в качестве паратипа, а также с образцом KP771696 (HKAS 45720) из Китая. Чуть меньшее сходство (98.2–99.5%) отмечено с образцом MG720573 (LE-BIN 3551) из Южной Сибири (табл. 2). Таким образом, высокий процент идентичности ITS последовательностей также подтверждает правильность нашего определения дан-

ного вида по морфологическим признакам плодовых тел.

ОБСУЖДЕНИЕ

Большинство видов рода *Pleurotus* очень сходны между собой морфологически. В природе *P. abieticola* может быть принят за один из двух широко распространенных представителей рода – *P. ostreatus* или *P. pulmonarius*. Однако приуроченность к древесине хвойных пород и наличие дифференцированных хейлоцистид позволит надежно отличить его от других видов рода.

Несмотря на то, что изученные нами образцы имеют высокий уровень идентичности с большинством опубликованных последовательностей ITS *P. abieticola*, наблюдаются некоторые различия в размерах и форме микроструктур (табл. 3). Так, длина спор у образцов из Республики Коми имеет большую вариабельность, чем у образцов из других частей ареала. В описании *P. abieticola* с Дальнего Востока указаны более короткие споры до 10.4 мкм (Petersen, Hughes, 1997), а для образцов из Китая – более длинные, до 14 мкм (Liu et al., 2015). Кроме того, выявлены различия в форме и размере хейлоцистид. Образцы с Дальнего Востока и Китая имеют простые, несептированные, округлые, широкобулавовидные до цилиндрических хейлоцистиды, длиной до 35–40 мкм (Petersen, Hughes, 1997; Liu et al., 2015). Хейлоцистиды образцов из Южной Сибири бутылковидные до почти цилиндрических, со слегка сужающейся вер-

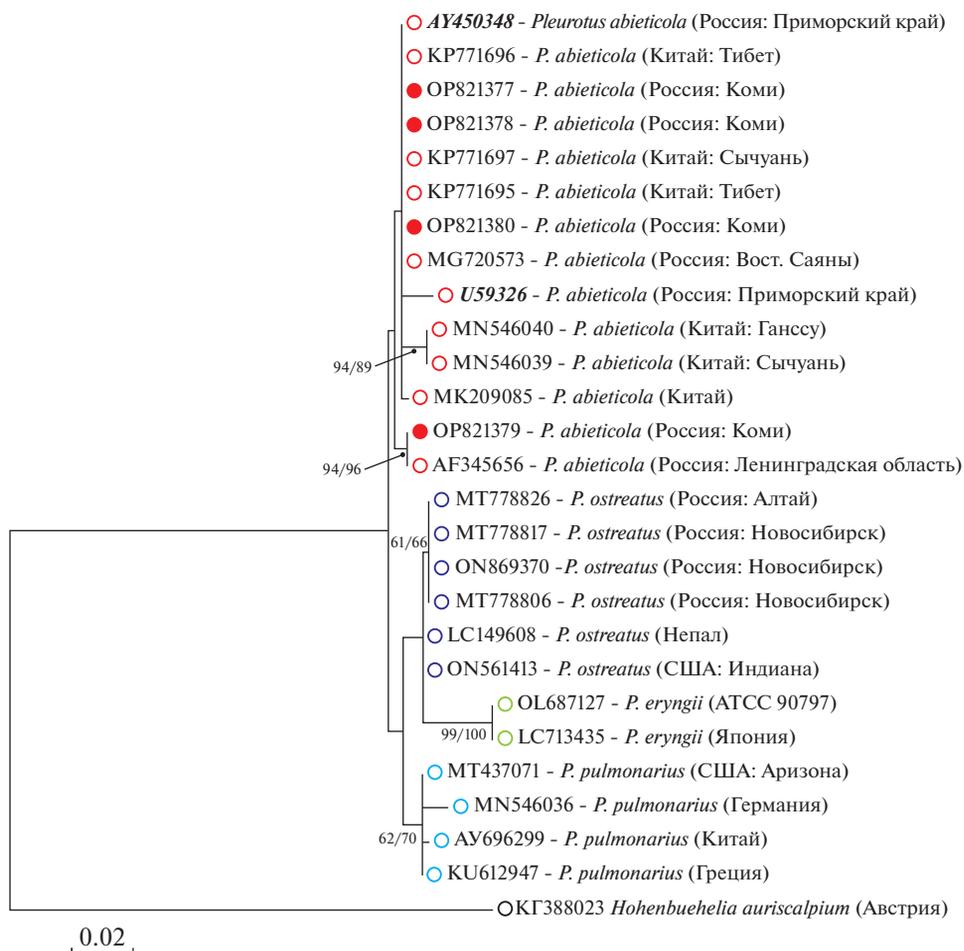


Рис. 4. Результаты филогенетического анализа последовательностей ITS образцов представителей рода *Pleurotus*. Значения бутстреп-поддержки ($BS \geq 60\%$) указаны слева от ветвей филограммы, построенной методом максимального правдоподобия. Полу жирным шрифтом выделены образцы голотипа (U59326) и паратипа (AY450348). Залитыми метками выделены последовательности, полученные в настоящем исследовании.

шиной и обычно с перегородками. У изученных нами образцов из Республики Коми форма хейлоцистид наиболее сходна с образцами из Сибири, хотя длина варьирует более широко, до 65 мкм. Таким образом, процент идентичности ITS изученных нами образцов наиболее высокий с образ-

цами с Дальнего Востока и Китая (99.4–100%), чем с образцами из Южной Сибири (98.2–99.5%), а наибольшее сходство в микропризнаках, наоборот, отмечено с образцами из Южной Сибири. Возможно, такие широкие пределы варьирования длины и ширины спор и хейлоцистид изученных

Таблица 2. Результаты сравнения полученных последовательностей ITS образцов *Pleurotus abieticola* с наиболее сходными последовательностями, депонированными в международной базе GenBank (алгоритм сравнения – BLASTn)

Код сиквенса в GenBank	Номер образца	Таксон/страна	Длина сиквенса, п.н	Сходство последовательностей, %			
				OP821377 747bp	OP821378 783bp	OP821379 801bp	OP821380 747bp
AY450348, paratypus	TENN 52359 (6554)	<i>P. abieticola</i> /Россия: Дальний Восток	1549	100% (762/762)	100% (762/762)	99.35% (769/774)	99.86% (737/738)
KP771696	HKAS45720	<i>P. abieticola</i> /Китай: Тибет	630	100% (630/630)	100% (630/630)	99.37% (626/630)	99.84% (629/630)
MG720573	LE-BIN 3551	<i>P. abieticola</i> /Россия: Южная Сибирь	771	99.32% (756/772)	99.47% (749/753)	98.19% (761/775)	99.32% (733/738)

Примечание: полу жирным шрифтом выделены изучаемые нуклеотидные последовательности образцов из Республики Коми.

Таблица 3. Размеры и форма микроструктур базидиом *Pleurotus abieticola* из разных мест сбора

Признак	Место сбора образцов (публикация)			
	Россия, Республика Коми (данное исследование)	Россия, Красноярский край (Malysheva et al., 2022)	Россия, Приморский край (Petersen, Hughes, 1997)	Китай (Liu et al., 2015)
Размер базидий, мкм	25–40 × (5)5.5–7.5	30.8–40.4 × 6.9–8.0	23–30 × 7–10	27–40 × 5.5–8.5
Длина спор, мкм	(6.5)7.5–12(12.6)	(9)10.3–11.6(11.9)	(8)8.8–10.4	(8)8.5–13(14)
Ширина спор, мкм	3–5(5.5)	4.3–5.1	4–4.8	4–5(5.5)
Размер хейлоцистид, мкм	(18)22–60(65) × (4)5–10(18)	30–47.2 × (6.1)9.1–10.4(15.8)	27–35 × 12.5–15.3	15–40 × 5–14
Форма хейлоцистид	обычно септированные, веретеновидные, булавовидные, цилиндрические	обычно септированные, веретеновидные, бутылковидные до почти цилиндрических с заостренной вершиной	широкобулавовидные до округлых	от широкобулавовидных до узкобулавовидных и почти цилиндрических

образцов плодовых тел *P. abieticola* связаны с географической дифференциацией признаков вида в границах ареала – территории Республики Коми, Дальнего Востока России и Китая разделены значительными расстояниями. Кроме того, на различия в размерах, возможно, повлиял и размер выборки – в данном исследовании было промерено большее число образцов, чем это было сделано в более ранних публикациях.

Большинство находок *P. abieticola* на территории России относятся к азиатской части (Южная Сибирь, Дальний Восток) (Petersen, Hughes, 1997; Malysheva et al., 2022). В европейской части России на данный момент задокументирована лишь одна находка в Нижнесви́рском заповеднике (Ленинградская обл.) (Albertó et al., 2002). Нами на территории Республики Коми отмечено восемь находок вида (рис. 3). Шесть находок сделано в предгорьях и горах западного макросклона Северного Урала, в бассейне рек Шугор, Подчерем, Печора, на территории двух особо охраняемых природных территорий Печоро-Ильчского заповедника и национального парка “Югыд ва”. Все экземпляры были собраны в горных и предгорных хвойных лесах, на валеже *Picea obovata*. В равнинной части Республики Коми выявлены две находки: одна в равнинной части Печоро-Ильчского заповедника, в окрестностях пос. Якша, в хвойном лесу на валеже *Abies sibirica*; вторая в окрестностях г. Сыктывкар, в ельнике чернично-зеленомошном, на валеже *Picea obovata*. Можно предположить, что *Pleurotus abieticola* предпочитает горные и предгорные леса и реже встречается на равнине. Это подтверждают и данные других авторов (Petersen, Hughes, 1997; Albertó et al., 2002; Malysheva et al., 2022).

Таким образом, находки *P. abieticola* на границе Европы и Азии заполняют обширный пробел между европейской и азиатской частью ареала этого вида. Ранее Е.О. Albertó с соавторами (2002) предполагали, что данный вид может обитать в северной Скандинавии, северной Японии и на Камчатке. В связи с новыми данными о распространении, возможно, *P. abieticola* может встречаться намного шире в европейской части России и в Сибири.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН “Оценка эколого-ценотического, видового и популяционного разнообразия растительного мира ключевых особо охраняемых природных территорий Республики Коми” № 122040600026-9.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Albertó E.O., Petersen R.H., Hughes K.W. et al. Miscellaneous notes on *Pleurotus*. Persoonia. 2002. V. 18. P. 55–69.
- Bolshakov S., Kalinina L., Palomozhnykh E. et al. Agaricoid and boletoid fungi of Russia: the modern country-scale checklist of scientific names based on literature data. Biol. Communications. 2021. V. 66 (4). P. 316–325. <https://doi.org/10.21638/spbu03.2021.404>
- Gardes M., Bruns T.D. ITS primers with enhanced specificity for basidiomycetes – application to the identification of mycorrhizae and rusts. Molec. Ecol. 1993. V. 2. P. 113–118. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.1993.tb00005.x>
- GBIF Occurrence Download. 2023. <https://www.gbif.org/ru/species/2526471>. Accessed 04.04.2023.
- Geltman D.V. (ed.). Herbarium business: a handbook. Kew: Royal Botanical Gardens, 1995 (in Russ.).
- Katoh K., Rozewicki J., Yamada K.D. MAFFT online service: multiple sequence alignment, interactive sequence choice and visualization. Briefings in Bioinformatics. 2019. V. 20 (4). P. 1160–1166. <https://doi.org/10.1093/bib/bbx108>

- Kirk P.M., Cannon P.F., Minter D.W. (eds.). Ainsworth et Bisby's dictionary of the fungi, 10th edn. CAB International, Wallingford, 2008.
<https://doi.org/10.1079/9780851998268.0000>
- Knudsen H., Vesterholt J. Funga Nordica. Agaricoid, boletoid and cyphelloid genera. Nordsvamp, Copenhagen, 2008.
- Kumar S., Stecher G., Tamura K. MEGA7: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 7.0 for bigger datasets. *Molec. Biol. Evol.* 2016. V. 33 (7). P. 1870–1874.
<https://doi.org/10.1093/molbev/msw054>
- Li J., Han L.-H., Liu X.-B. et al. The saprotrophic *Pleurotus ostreatus* species complex: late Eocene origin in East Asia, multiple dispersal, and complex speciation. *IMA Fungus*. 2020. V. 11 (10). P. 1–21.
<https://doi.org/10.1186/s43008-020-00031-1>
- Liu X.-B., Liu J.-W., Yang Zh.-L. A new edible mushroom resource, *Pleurotus abieticola*, in southwestern China. *Mycosystema*. 2015. V. 34 (4). P. 581–588.
<https://doi.org/10.13346/j.mycosystema.150051>
- Liu X.-B., Li J., Horak E. et al. *Pleurotus placentodes*, originally described from Sikkim, rediscovered after 164 years. *Phytotaxa*. 2016. V. 267 (2). P. 137–145.
<https://doi.org/10.11646/phytotaxa.267.2.6>
- Malysheva E.F., Kiyashko A.A., Malysheva V.F. et al. A survey of rare species of agaricoid fungi (Basidiomycota) from South Siberia, Russia. *Turczaninowia*. 2022. V. 25 (1). P. 52–72.
<https://doi.org/10.14258/turczaninowia.25.1.6>
- Mueller G.M., Bills G.F., Foster M.S. Biodiversity of Fungi, inventory and monitoring methods. Watham, 2004.
- Palamarchuk M.A. Agaricoid basidiomycetes of the Pechoro-Ilych reserve and adjoining territory. II. Foothill area. *Mikologiya i fitopatologiya*. 2009. V. 43 (2). P. 125–134 (in Russ.).
- Palamarchuk M.A. New data on agaricoid basidiomycetes (*Agaricomycetes*, *Basidiomycota*) of the Komi Republic. *Mikologiya i fitopatologiya*. 2020. V. 54 (2). P. 98–106 (in Russ.).
<https://doi.org/10.31857/S0026364820020087>
- Palamarchuk M.A., Kirillov D.V. Agaricoid basidiomycetes of Syktyvkar city and its vicinities (The Komi Republic). *Mikologiya i fitopatologiya*. 2017. V. 51 (3). P. 137–146 (in Russ.).
- Palamarchuk M.A., Kirillov D.V. New data on agaricoid basidiomycetes of the National park “Yugyd va” (Subpolar and Northern Urals). *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra URO RAN*. 2018. № 1 (33). P. 13–21 (in Russ.).
- Petersen R.H., Hughes K.W. A new species of *Pleurotus*. *Mycologia*. 1997. V. 89 (1). P. 173–180.
<https://doi.org/10.1080/00275514.1997.12026768>
- Tamura K., Nei M. Estimation of the number of nucleotide substitutions in the control region of mitochondrial DNA in humans and chimpanzees. *Molecular Biology and evolution*. 1993. V. 10. P. 512–526.
- Venturella G., Gargano M.L., Compagno R. The genus *Pleurotus* in Italy. *Fl. Medit.* 2015. V. 25. P. 143–156.
<https://doi.org/10.7320/FIMedit25SI.143>
- Гельтман Д.В. (ред.). (Geltman) Гербарное дело: справочное руководство Кью: Королевские ботанические сады. 1995. 341 с.
- Паламарчук М.А. (Palamarchuk) Агарикоидные базидиомицеты Печоро-Ильчского заповедника и прилегающей территории. II. Предгорный район // Микология и фитопатология. 2009. Т. 43. № 2. С. 125–134.
- Паламарчук М.А. (Palamarchuk) Новые сведения об агарикоидных базидиомицетах (Agaricomycetes, Basidiomycota) Республики Коми // Микология и фитопатология. 2020. Т. 54. № 2. С. 98–106.
- Паламарчук М.А., Кириллов Д.В. (Palamarchuk, Kirillov) Агарикоидные базидиомицеты Сыктывкара и его окрестностей, Республика Коми // Микология и фитопатология. 2017. Т. 51. № 3. С. 137–146.
- Паламарчук М.А., Кириллов Д.В. (Palamarchuk, Kirillov) Новые данные об агарикоидных базидиомицетах национального парка “Югыд ва” (Приполярный, Северный Урал) // Известия Коми научного центра УРО РАН. 2018. № 1 (33). С. 13–21.

New Data on Distribution of *Pleurotus abieticola* (*Pleurotaceae*, *Agaricales*, *Basidiomycota*) in Russia

M. A. Palamarchuk^{a, #}, D. V. Kirillov^{a, ##}, and D. M. Shadrin^{a, ###}

^aInstitute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia

[#]e-mail: palamarchuk@ib.komisc.ru

^{##}e-mail: kirdimka@mail.ru

^{###}e-mail: shdimas@yandex.ru

Here, we present information about the findings of *Pleurotus abieticola* in the territory of the northeast of the European part of Russia and the western macroslope of the Northern Urals within the borders of the Komi Republic (Russia). *P. abieticola* is a rare species found in Europe (Czech Republic, Finland, Poland, Russia), Asia (China, Eastern Siberia, Far East, Korea) and North America (Alaska). In Russia, several locations are known in the Leningrad Region, Krasnoyarsk and Primorye Territories. Comparison of the ITS nucleotide sequences of several collected specimens of *P. abieticola* with the data deposited in the GenBank database showed 98.2–100% similarity with *P. abieticola* specimens from other parts of the range (Southern Siberia, Far East, China). The article presents a description of basidiomata, photographs of microstructures, clarified features of morphology, and provides information on the distribution and ecology of this species.

Keywords: biodiversity, ITS, Komi Republic, Pechoro-Ilychsky Reserve, protected areas, Ural, Yugyd va National Park

NEW SPECIES OF FUNGI FOR SVERDLOVSK REGION (THE MIDDLE URALS, RUSSIA) ON ALIEN AND ABORIGINE WOODY PLANTS

© 2023 A. G. Shiryayev^{1,*}, T. S. Bulgakov^{2,**}, I. V. Zmitrovich^{3,***}, O. S. Shiryayeva^{1,****},
A. S. Budimirov^{1,*****}, and V. A. Dudka^{3,*****}

¹Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 620144 Ekaterinburg, Russia

²Federal Research Centre the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, 354002 Sochi, Russia

³Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, 197022 St. Petersburg, Russia

*e-mail: anton.g.shiryayev@gmail.com

**e-mail: ascomycologist@yandex.ru

***e-mail: iv_zmitrovich@mail.ru

****e-mail: olga.s.shiryayeva@gmail.com

*****e-mail: bas-2000eka@yandex.ru

*****e-mail: dudkavasilij.a@gmail.com

Received June 20, 2023; Revised July 15, 2023; Accepted July 31, 2023

The paper continues a series of publications devoted to the new finds of fungi (*Ascomycota*, *Basidiomycota*) in Sverdlovsk Region (the Middle Urals, Russia). Totally, 75 species of macro- and microfungi reported on alien and aborigine woody plants for the first time in the region. The most numerous group are alien plant pathogenic fungi (71%) developing on cultivated fruit trees in gardens and parks, as well as on many common species of trees and shrubs in urban greening.

Keywords: *Ascomycota*, alien species, *Basidiomycota*, biodiversity, fungal distribution, invasion, plant pathogen, Russia

DOI: 10.31857/S0026364823060107, **EDN:** IZELTL

INTRODUCTION

The paper is a seventh in the series of publications devoted to the new finds of fungi in Sverdlovsk Region on alien and invasive woody plants (Shiryayev et al., 2021; 2022a, 2022b; 2023; Bulgakov, Shiryayev, 2021, 2022). Each annotated record provides details about specimen ecology and collection information: locality, substrate, date of collecting and specimen herbarium numbers.

MATERIALS AND METHODS

Specimens were collected by A.G. Shiryayev, T.S. Bulgakov, O.S. Shiryayeva and A.S. Budimirov within Ekaterinburg city territory in 2000–2023. The collected specimens were processed in the mycological collections of Institute of Plant and Animal Ecology of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Ekaterinburg, SVER), in the Department of Plant Protection of the Federal Research Center “Subtropical Scientific Center of the Russian Academy of Sciences” (Sochi), and in the Komarov Botanical Institute (Saint Petersburg, LE).

The identification of the fungal species was carried out by light microscopy of temporary preparations ac-

ording to standard methods (Blagoveshchenskaya, 2015); special keys books and monographs were used to determinate the fungal species (Kuprevich, Ulyanishchev, 1975; Ulyanishchev, 1978; Sutton, 1980; Butin, 1989; Braun, Melnik, 1997; Ellis and Ellis, 1997; Braun, 1998; Karatygin, 2002; Braun, Cook, 2012; Knudsen, Vesterholt, 2012; Ryvarden, Melo, 2014; Blagoveshchenskaya, 2015), as well as some additional publications devoted to the study and taxonomical revision of the some particular fungal taxa and new species descriptions (Chethana et al., 2015; Daranagama et al., 2016; Norphanphoun et al., 2017; Vohlmayr et al., 2017; Hyde et al., 2018; Jaklitsch et al., 2018; Crous et al., 2020) and open global data base “Fungal Databases: U.S. National Fungus Collections” (Farr, Rossman, 2023). The names of fungal species are given according to the open database “MycoBank” (MycoBank, 2023).

The host plant species were identified by the key-book “Keys to the trees and shrubs species of the Urals” (Mamaev, 2000); the plant species are given according to the open nomenclatural database “Plant of the World Online” (POWO, 2023). Some introduced exotic plant species in the collections of the Botanical garden were determined according to the personal data

of researchers of the Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

The following abbreviations are used in the list: BG UrB RAS – Botanical Garden of Ural Branch of the Russia Academy of Sciences; Pat – pathogenic; Sap – saprobic.

Before each fungal species, the “alien” status is indicated (see Discussion part):

*invasive alien species;

!co-introduced alien species;

#conditional alien species;

*!invasive alien fungal species on conditional for Sverdlovsk Region alien plant species.

Empty space denotes a local fungal species.

RESULTS

An annotated species list

Ascomycota

Pezizomycotina

Dothideomycetes

Dothideales

Dothideaceae

#*Dothidea berberidis* (Wahlenb.) De Not. [= *Dothidella berberidis* (Wahlenb.) Theiss. et Syd.] – on dead branches of *Berberis vulgaris* L. (*Berberidaceae*): BG UrB RAS, 09.08.2022, SVER(F) 96780. Pat.

Botryosphaerales

Botryosphaeriaceae

*!*Diplodia sapinea* (Fr.) Fuckel [= *Sphaeropsis sapinea* (Fr.) Dyko et B. Sutton] – on live and dying needles and twigs of *Pinus mugo* Turra (*Pinaceae*): the territory of the residential complex “Nagorny”, 23.10.2022, SVER(F) 96781. Pat.

!*Phaeobotryon negundinis* Daranag., Bulgakov et K.D. Hyde – on dying branches of *Acer negundo* L. (*Sapindaceae*), BG UrB RAS, 22.07.2022, SVER(F) 96782. Pat.

Phyllostictaceae

!*Phyllosticta paviae* Desm. (= *Ph. sphaeropsoides* Ellis et Everh.) – on living leaves of *Aesculus hippocastanum* L. (*Sapindaceae*): BG UrB RAS, 27.07.2022, SVER(F) 96783. Pat.

Mycosphaerellales

Mycosphaerellaceae

!*Acervuloseptoria fraxini* Crous et Bulgakov – on living leaves of *Fraxinus pennsylvanica* Marshall (*Oleaceae*): BG UrB RAS, 09.08.2022, SVER(F) 96784. Pat.

!*Neophloeospora maculans* (Bérenger) Videira et Crous [= *Cylindrosporium maculans* (Bérenger) Jacz. ≡ *Phloeospora maculans* (Bérenger) Allesch.] – on living leaves of *Morus alba* L. (*Moraceae*): BG UrB RAS, 27.07.2022, SVER(F) 96785. Pat.

!*Passalora fraxini* (DC.) Arx [= *Cercospora fraxini* (DC.) Sacc.] – on living leaves of *Fraxinus* (*Oleaceae*): *F. excelsior* L. – Arboretum on Pervomayskaya street, 29.07.2022,

SVER(F) 96786; *F. pennsylvanica* Marshall – *ibid.*, 05.08.2021, SVER(F) 96793. Pat.

#*Pruniphilomyces circumscissus* (Sacc.) Crous et Bulgakov (≡ *Cercospora circumscissa* Sacc.) – on living leaves of *Prunus* (*Rosaceae*): *P. pumila* L. – BG UrB RAS, 27.07.2022, SVER(F) 96787; *P. tenella* Batsch – *ibid.*, 19.07.2021, SVER(F) 96794. Pat.

!*Pseudocercospora lilacis* (Desm.) Deighton (≡ *Cercospora lilacis* Desm.) – on living leaves of *Syringa vulgaris* L. (*Oleaceae*): BG UrB RAS, 27.07.2022, SVER(F) 96863; Arboretum on Pervomayskaya str., 29.07.2022, SVER(F) 96788. Pat.

!*Pseudocercosporella leptosperma* (Peck) U. Braun – on living leaves of *Eleutherococcus* sp. (*Araliaceae*): BG UrB RAS, 27.07.2022, SVER(F) 96789. Pat.

!*Ragnhildiana ampelopsidis* (Peck) U. Braun, C. Nakash., Videira et Crous (≡ *Cercospora ampelopsidis* Peck) – on living leaves of *Parthenocissus quinquefolia* (L.) Planch. (*Vitaceae*): BG UrB RAS, 27.07.2022, SVER(F) 96790. Pat.

Rosisphaerella rosicola (Pass.) U. Braun, C. Nakash., Videira et Crous [= *Cercospora rosicola* Pass. ≡ *Passalora rosicola* (Pass.) U. Braun] – on living leaves of *Rosa* (*Rosaceae*): *R. acicularis* L. – BG UrB RAS, 27.07.2022, SVER(F) 96791; *R. chinensis* Jacq. – *ibid.*, 30.07.2021, SVER(F) 96792. Pat.

!*Septoria pyricola* (Desm.) Desm. [= *Mycosphaerella pyri* (Auersw.) Boerema] – on living leaves of *Pyrus communis* L. (*Rosaceae*), BG UrB RAS, 28.07.2022, SVER(F) 96792. Pat.

#*Sphaerulina aceris* (Lib.) Verkley, Quaedvlieg et Crous (≡ *Ascochyta aceris* Lib.) – on living leaves of *Acer platanoides* L. (*Sapindaceae*): Arboretum on Pervomayskaya street, 29.07.2022, SVER(F) 96795. Pat.

!*Sphaerulina berberidis* (Niessl) Quaedvlieg, Verkley et Crous (≡ *Septoria berberidis* Niessl) – on living leaves of *Berberis vulgaris* (*Rosaceae*): BG UrB RAS, 28.07.2022, SVER(F) 96796. Pat.

#*S. quercicola* (Desm.) Quaedvl., Verkley et Crous [= *Septoria quercicola* (Desm.) Sacc.] – on living leaves of *Quercus robur* L. (*Fagaceae*): BG UrB RAS, 28.09.2022, SVER(F) 96797. Pat.

S. rehmana Jaap (= *S. rosarum* Westend.) – on living leaves of *Rosa* (*Rosaceae*): *R. chinensis* Jacq. – BG UrB RAS, 28.07.2022, SVER(F) 96798; *R. maximowicziana* Regel – BG UrB RAS, 28.07.2022, SVER(F) 96799. Pat.

Myriangiales

Elsinoaceae

!*Sphaceloma symphoricarpi* Barrus et Horsfall – on living leaves of *Symphoricarpos albus* (L.) S.F. Blake (*Caprifoliaceae*): BG UrB RAS, 05.10.2022, SVER(F) 96800. Pat.

Pleosporales

Dothidotthiaceae

**Thyrostroma tiliae* Senwana, Wanas., Bulgakov, Phookamsak et K.D. Hyde [= *Thyrostroma compactum* (Sacc.) Höhn. var. *tiliae* (Sacc.) Höhn.] – on dying twigs and branches of *Tilia cordata* Mill. (*Malvaceae*): South Park, 28.07.2022, SVER(F) 96801. Pat.

!*Thyrostroma ulmicola* Senwana, Wanas., Bulgakov, Phookamsak et K.D. Hyde – on dying twigs and branches of *Ulmus pumila* L. (*Ulmaceae*): South Park, 28.07.2022, SVER(F) 96802; BG UrB RAS, 06.08.2022, SVER(F) 96803. Pat.

Cucurbitariaceae

#*Cucurbitaria berberidis* (Pers.) Gray [= *Pyrenochaeta berberidis* (Sacc.) Brunaud] – on dying twigs and branches of *Berberis vulgaris* (*Berberidaceae*): BG UrB RAS, 22.07.2022, SVER(F) 96803. Pat.

#*Neocucurbitaria rhamni* (Nees) Jaklitsch et Voglmayr (= *Cucurbitaria rhamni* (Nees) Fuckel) – on dying branches of *Rhamnus cathartica* L. (*Rhamnaceae*): BG UrB RAS, 22.07.2022, SVER(F) 96804. Pat.

Didymellaceae

!*Ascochyta philadelphi* Sacc. et Speg. – on living leaves of *Philadelphus coronarius* L. (*Hydrangeaceae*): BG UrB RAS, 22.07.2022, SVER(F) 96805. Pat.

!*Neodidymelliopsis negundinis* Manawasinghe, Bulgakov et K.D. Hyde – on dying twigs and branches of *Acer negundo* (*Sapindaceae*): BG UrB RAS, 22.07.2022, SVER(F) 96806; on dead twigs of *Euonymus europaeus* L. (*Celastraceae*), *ibid.*, 22.07.2022, SVER(F) 96862. Pat.

Leptosphaeriaceae

!*Longiseptatispora curvata* Crous et Bulgakov – on dying twigs of *Lonicera tatarica* L. (*Caprifoliaceae*): BG UrB RAS, 22.07.2022, SVER(F) 96807; urban district “Botanichesky”, 30.07.2022, SVER(F) 96806. Pat. Perhaps, this new species (Crous et al., 2020) is identical to the previously recorded *Rhabdospora lonicerae* (Cooke et Ellis) Sacc. (Naumov, 1915).

Massarinaceae

Helminthosporium tiliae (Link) Fr. (≡ *Exosporium tiliae* Link) – on ascomata of *Hercospora tiliae* and dead twigs and branches of *Tilia cordata* (*Malvaceae*): South Park, 22.07.2022, SVER(F) 96807. Sap.

!*Pseudosplanchnonema phorcioides* (I. Miyake) Chethana, Camporesi et K.D. Hyde [≡ *Splanchnonema phorcioides* (I. Miyake) P. Leroy, L. Gauthier et M.E. Barr] – on dying twigs of *Morus alba* (*Moraceae*): BG UrB RAS, 22.07.2022, SVER(F) 96808. Pat.

*Venturiales**Venturiaceae*

#*Venturia tremulae* Aderh. var. *populi-albae* M. Morelet [= *Fusicladium radiosum* var. *populi-albae* (M. Morelet) Ritschel et U. Braun] – on living leaves of *Populus alba* L. (*Salicaceae*): BG UrB RAS, 22.07.2022, SVER(F) 96809. Pat.

Dothideomycetes incertae sedis

#*Asteromella mali* (Briard) Boerema (≡ *Phyllosticta mali* Briard) – on living leaves of *Malus domestica* (Suckow) Borkh. (*Rosaceae*): BG UrB RAS, 28.07.2022, SVER(F) 96810. Pat.

*Leotiomycetes**Helotiales**Dermateaceae*

#*Dermea acerina* (Peck) Rehm – on living leaves of *Acer platanoides* (*Sapindaceae*): BG UrB RAS, 28.07.2022, SVER(F) 96811. Pat.

#*Drepanopeziza castagnei* (Desm. et Mont.) Rossman et W.C. Allen [= *Marssonina castagnei* (Desm. et Mont.) Magnus] – on living leaves of *Populus alba* (*Salicaceae*): BG UrB RAS, 28.07.2022, SVER(F) 96812. Pat.

Erysiphaceae

*!*Erysiphe azaleae* (U. Braun) U. Braun et S. Takam. – on living leaves of *Rhododendron luteum* L. (*Ericaceae*): BG UrB RAS, 10.10.2022, SVER(F) 96813. Pat.

*!*E. euonymicola* U. Braun (= *E. euonymi-japonica* U. Braun et S. Takam.) – on living leaves of *Euonymus japonicus* Thunb. (*Celastraceae*): BG UrB RAS, greenhouse, 19.09.2022, SVER(F) 96814. Pat.

*!*E. flexuosa* (Peck) U. Braun et S. Takam. (≡ *Uncinula flexuosa* Peck) – on living leaves of *Aesculus hippocastanum* L. (*Sapindaceae*): Arboretum on 8 March street, 28.09.2022, SVER(F) 96815. Pat.

#*E. friesii* (Lév.) U. Braun et S. Takam. [≡ *Microsphaera friesii* (Lév.) Sacc.] – on living leaves of *Rhamnus cathartica* (*Rhamnaceae*): BG UrB RAS, 26.08.2022, SVER(F) 96816. Pat.

*!*E. salmonii* (Syd. et P. Syd.) U. Braun et S. Takam. – on living leaves of *Fraxinus mandshurica* Rupr. (*Oleaceae*): BG UrB RAS, 05.10.2022, SVER(F) 96860. Pat.

!*Phyllactinia fraxini* (DC.) Fuss – on living leaves of *Fraxinus excelsior* (*Oleaceae*): Arboretum on 8 March street, 06.10.2022, SVER(F) 96817. Pat.

Sclerotiniaceae

#*Monilia fructigena* (Pers.) Honey [≡ *Monilia fructigena* (Pers.) Pers.] – on rotten fruits of *Rosaceae* woody plants: *Malus baccata* (L.) Borkh. – BG UrB RAS, 20.10.2020, SVER(F) 96818; *M. domestica* – Elizavet gardens, 12.09.2021, SVER(F) 96819; *Prunus cerasus* – private garden “Seven Fontains”, 25.08.2021, SVER(F) 96820; *P. domestica* – *ibid.*, 01.08.2021, SVER(F) 96822; *Pyrus communis* – *ibid.*, 05.08.2021, SVER(F) 96821; *P. ussuriensis* Maxim. – BG UrO RAS, 22.08.2021, SVER(F) 96857. Pat.

#*M. laxa* (Aderh. et Ruhland) Honey (= *Monilia cinerea* Bonord.) – on growing shoots, flowers and fruits of *Prunus cerasus* (*Rosaceae*): private garden “Seven Fontains”, 23.08.2021, SVER(F) 96823. Pat.

*Rhytismatales**Rhytismataceae*

#*Colpoma quercinum* (Pers.) Wallr. [= *Conostroma didymum* (Fautrey et Roum.) Moesz] – on dying and dead branches of *Quercus robur* (*Fagaceae*): Arboretum at 8 March str., 28.07.2022, SVER(F) 96824. Pat.

Marthamycetaceae

!*Cyclaneusma minus* (Butin) DiCosmo, Peredo et Minter (≡ *Naemocyclus minor* Butin) – on living and dying needles of *Pinus mugo* (*Pinaceae*): the territory of the residential complex “Nagorny”, 12.10.2022, SVER(F) 96825. Pat.

Rhytismataceae

#*Rhytisma acerinum* (Pers.) Fr. (= *Melasmia acerina* Lév.) – on living leaves of *Acer* (*Sapindaceae*): *A. campestre* – Arboretum on Pervomayskaya, 28.08.2020, SVER(F)

96858; *A. platanoides* – the territory of the residential complex “Nagorny”, 12.10.2022, SVER(F) 96826. Pat.

Sordariomycetes

Amphisphaeriales

Pestalotiopsidaceae

!*Pestalotiopsis sydowiana* (Bres.) B. Sutton (≡ *Pestalotia sydowiana* Bres.) – on living leaves of *Rhododendron* (*Ericaceae*): *R. brachycarpum* D. Don ex G. Don subsp. *fauriei* (Franch.) D.F. Chamb. – BG UrB RAS, 14.08.2021, SVER(F) 96859; *Rh. caucasicum* Pall. – *ibid.*, 20.20.2021, SVER(F) 96827; *Rh. dauricum* L. – *ibid.*, 14.10.2020, SVER(F) 96828; *Rh. smirnowii* Trautv. ex Regel – *ibid.*, 03.06.2021; SVER(F) 96829. Pat.

Diaporthales

Coryneaceae

#*Coryneum depressum* J.C. Schmidt [= *Pseudovalsa umbonata* (Tul. et C. Tul.) Sacc.] – on dying and dead branches of *Quercus robur* (*Fagaceae*): BG UrB RAS, 27.07.2022, SVER(F) 96830. Pat.

#*Coryneum umbonatum* Nees [= *Pseudovalsa longipes* (Tul.) Sacc.] – on dead branches of *Quercus* (*Fagaceae*): *Q. mongolica* Fisch. ex Ledeb. – BG UrB RAS, 28.07.2022, SVER(F) 96831; *Q. robur* – BG UrB RAS, 10.07.2021, SVER(F) 96832. Pat.

Cytosporaceae

#*Cytospora ceratosperma* (Tode) G.C. Adams et Rossman – on dying twigs and branches of *Acer* (*Sapindaceae*): *A. platanoides* – BG UrB RAS, 28.07.2022, SVER(F) 96833 и *A. tataricum* – BG UrB RAS, 09.07.2020, SVER(F) 96834. Pat.

!*Cytospora parasitica* Norphanph., Bulgakov et K.D. Hyde – on dying twigs and branches of *Malus* (*Rosaceae*): *M. baccata* (L.) Borkh. – South Park, 27.07.2022, SVER(F) 96835; *M. domestica* – BG UrB RAS, 28.07.2022, SVER(F) 96836. Pat.

Diaporthaceae

!*Juglanconis oblonga* (Berk.) Voglmayr et Jaklitsch (≡ *Melanconium oblongum* Berk.) – on dying twigs and branches of *Juglans mandshurica* (*Juglandaceae*) – BG UrB RAS, 03.07.2020, SVER(F) 96837. Pat.

Gnomoniaceae

Amphicytostroma tiliae (Sacc.) Petr. (≡ *Cytospora tiliae* Sacc.) – on dead twigs of *Tilia cordata* (*Malvaceae*): BG UrB RAS, 27.07.2022, SVER(F) 96838. Pat/Sap.

#*Apiognomonia errabunda* (Roberge ex Desm.) Höhn. [= *Apiognomonia quercina* (Kleb.) Höhn. = *Gloeosporium tiliae* Oudem.] – on living leaves of *Quercus* (*Fagaceae*): *Q. mongolica* – BG UrB RAS, 27.07.2022, SVER(F) 96839; *Q. robur* – BG UrB RAS, 27.07.2022, SVER(F) 96840. Pat.

!*Ophiognomonia leptostyla* (Fr.) Sogonov [= *Marssonina juglandis* (Lib.) Magnus] – on living leaves and fruits of *Juglans mandshurica* (*Juglandaceae*): BG UrB RAS, 05.09.2020, SVER(F) 96841. Pat.

Lamproconiaceae

Hercospora tiliae (Pers.) Tul. et C. Tul. [≡ *Rabenhorstia tiliae* (Pers.) Fr.] – on dying twigs and branches of *Tilia platyphyllos* Scop. (*Malvaceae*): BG UrB RAS, 09.08.2022, SVER(F) 96843. Pat/Sap.

Ophiostomatales

Ophiostomataceae

**Ophiostoma novo-ulmi* Brasier – in wood of *Ulmus* (*Ulmaceae*): *U. glabra* Huds. – BG UrB RAS, 15.09.2021, SVER(F) 96844; *U. laevis* Pall. – *ibid.*, 28.07.2022, SVER(F) 96845; *U. pumila* L. – *ibid.*, 08.07.2020, SVER(F) 96846. Pat.

Xylariales

Diatrypaceae

#*Diatrypella quercina* (Pers.) Cooke – on dying and dead branches of *Quercus* (*Fagaceae*): *Q. robur* – BG UrB RAS, 27.07.2022, SVER(F) 96842; *Q. rubra* L. – *ibid.*, 09.09.2022, SVER(F) 96864. Pat.

Basidiomycota

Agaricomycotina

Agaricomycetes

Auriculariomycetidae

Auriculariales

Auriculariaceae

**Auricularia nigricans* (Sw.) Birkebak, Looney et Sánchez-García – on dead stem of *Juglans mandshurica* (*Juglandaceae*): BG UrB RAS, 26.08.2019, SVER(F) 96868. Sap.

Sebacinales

Sebacinaceae

#*Sebacina grisea* Bres. – on fallen trunk of *Picea glauca* (Moench) Voss (*Pinaceae*): BG UrB RAS, 05.09.1998, SVER(F) 96865. Myc/Sap.

Agaricales

Pluteaceae

Pluteus phlebophorus (Ditmar) P. Kumm. – on stumps of *Acer negundo* (*Sapindaceae*): BG UrB RAS, 20.06.2022, SVER 910240. Sap. *Pluteus phlebophorus* is also known from the vicinity of Sargaya village (Krasnoufimsk District), where it is found on trunk of *Quercus robur* in mixed forest, 11.09.1960, SVER 910108 (the specimen has not been previously published). The species is poorly resolved taxonomically, and it is in need of a critical revision utilizing molecular techniques, but the absence of type specimens complicate revision (Funga., 2012; Malysheva et al., 2016). Therefore, studied collections are considered as *Pluteus phlebophorus* in morphological concept proposed by Vellinga (1990).

Psathyrellaceae

Coprinellus truncorum (Scop.) Redhead, Vilgalys et Moncalvo – on or around trunks or stumps of deciduous trees, mainly on *Populus*: BG UrB RAS, 01.08.2012, SVER 745145; Hohryakova str., on the base of trunk of *P. balsamifera* L. (*Salicaceae*), 17.06.2023, SVER 910237; Stepana Razina str., on and around trunk of *P. balsamifera*,

03.07.2023, SVER 910236; Sakko and Vanzetti str., on the base of trunk of *P. balsamifera*, 8.07.2023, SVER 910238; XXII Partsyezd Park, on stump of *P. balsamifera*, 08.07.2023, SVER 910239. Sap/Par.

Atheliales

Byssocorticiaceae

**Leptosporomyces raunkiaeri* (M.P. Christ.) Jülich – at the base and dead roots of *Chamaerops humilis* L. (*Arecaceae*): BG UrB RAS, subtropical glasshouse, 14.06.2018, SVER(F) 96866.; *ibid.*, on fallen trunk of *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. (*Betulaceae*): Mednyi surrounds, edge of the bog, 02.09.2022, SVER(F) 96870. Sap.

Corticiales

Corticiaceae

**Dendrothele griseocana* (Bres.) Bourdot et Galzin – on bark of living *Salix alba* L. (*Salicaceae*): Arboretum at Pervomayskaya street, 18.08.2017, SVER(F) 96867. Sap.

#*Kurtia macedonica* (Litsch.) Karasiński – on dead part of *Quercus robur* (*Fagaceae*): Central city park, 30.09.2006, SVER(F) 96871. Sap.

**Vuilleminia cystidiata* Parmasto – on branch of *Acer negundo* (*Sapindaceae*): “Botanical” city district, 02.09.2021, SVER(F) 96872. Pat/Sap.

Hymenochaetales

Hymenochaetaceae

#*Hymenochaete pilatii* Corfixen et Parmasto – on dead stem of *Sorbaria sorbifolia* L. (*Rosaceae*): BG UrB RAS, 27.09.2006, SVER(F) 96874 [as *Hymenochaete tabacina* (Sowerby) Lév.]. Sap.

Oxyporaceae

#*Oxyporus phellodendri* Bondartsev et Lj.N. Vassiljeva – on dead stem of *Phellodendron amurense* Rupr. (*Rutaceae*): BG UrB RAS, 20.08.2005, SVER(R) 96873. Sap.

Polyporales

Meruliaceae

#*Cabalodontia queletii* (Bourdot et Galzin) Piątek – of dead part of *Juglans mandshurica* (*Juglandaceae*): Arboretum at 8 march street, 08.09.2006, SVER(F) 96876. Sap.

#*Hypochnicium cymosum* (D.P. Rogers et H.S. Jacks) K.H. Larss. et Hjortstam – on dead part of *Picea glauca* (*Pinaceae*): Arboretum at Pervomayskaya street, 28.09.2017, SVER(F) 96875. Sap.

Trechisporales

Hydnodontaceae

#*Subulicystidium perlongisporum* Boidin et Gilles – on dead trunk of *Malus baccata* (*Rosaceae*): Arboretum at Pervomayskaya str., 03.10.2021, SVER(F) 96877. Sap.

Pucciniomycotina

Pucciniomycetes

Pucciniales

Pucciniastraceae

Naohidemycetes vacciniorum (J. Schröt.) Spooner (= *Pucciniastrum vaccinii* Jørst.) – on living leaves and fruits of *Vaccinium* sp. (*Ericaceae*): Ayatskoy Lake, pine-dominated managed forest, 09.08.2007, SVER(F) 96847. Pat.

Pucciniaceae

!*Puccinia vincae* (DC.) Berk. – on living leaves of *Vinca major* L. (*Apocynaceae*): Chkalov city district, private garden, 13.07.2023, SVER(F) 96848. Pat.

!*Uromyces caraganae* (Thüm.) Magnus – on living leaves of *Caragana arborescens* Lam. (*Fabaceae*): City center, street shrubs, 16.08.2021, SVER(F) 96849. Pat.

Tranzscheliaceae

!*Tranzschelia discolor* (Fuckel) Tranzschel et M.A. Litv. – on living leaves of *Prunus* (*Rosaceae*): *P. domestica* – BG UrB RAS, 20.09.2021, SVER(F) 96850; *P. insititia* L. – private garden “Seven fountains”, 16.08.2020, SVER(F) 96851. Pat.

Ustilaginomycotina

Exobasidiomycetes

Exobasidiales

Exobasidiaceae

#*Exobasidium cassiopes* Peck – on living leaves of *Cassiope tetragona* (L.) D. Don (*Ericaceae*): Denezkin Kamen Mt., 25.07.1949, SVER(F) 96853. Pat.

!*E. miyabei* Nagao, Akimoto et Kishi – on living leaves of *Rhododendron dauricum* (*Ericaceae*): BG UrB RAS, 26.07.2022, SVER(F) 96854. Pat.

!*E. rhododendri* (Fuckel) C.E. Cramer – on living leaves of *Rhododendron hirsutum* L. (*Ericaceae*): BG UrB RAS, 25.08.2022, SVER(F) 96855. Pat.

Graphiolaceae

!*Graphiola phoenicis* (Moug. ex Fr.) Poit. – on living leaves of *Phoenix canariensis* H. Wildpret (*Arecaceae*): BG UrB RAS, subtropical glasshouse, 30.06.2005, SVER(F) 96856. Pat.

DISCUSSION

Previously, 20 species of exobasidioid fungi were known in Sverdlovsk Region (Shiryayev et al., 2010; Shiryayev, Stavishenko, 2011). As a result of this study, four new species were identified. Consequently, 24 species of exobasidioid fungi are recorded in the region now. This group of fungi was previously found only in the natural habitats of the region, and now four species have been identified on alien plants in the Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (BG UrB RAS): *Exobasidium miyabei* and *E. rhododendrii* were found on living leaves of several East Asian *Rhododendron* species in open ground, and one species was found on living leaves of the host plants

in greenhouses: *Graphiola phoenicis* – on *Phoenix canariensis*. One new species, *Exobasidium cassiopes*, parasitizes the leaves of *Cassiope tetragona* in natural conditions.

Previously, 29 species of powdery mildew fungi were recorded on woody plants in Sverdlovsk Region (Bulgakov, Shiryayev, 2022). Currently, this list has increased (up to 35 species totally) by six species, which were found on alien species of trees and shrubs, including one exotic species – *Erysiphe euonymicola* – was found on the leaves of *Euonymus japonica* in the greenhouses of BG UrB RAS.

There were 12 species of rust fungi previously recorded in Sverdlovsk Region on trees and shrubs (Bulgakov, Shiryayev, 2021). This number has been increased (up to 16 species) by four new found species.

All identified alien fungi can be divided into three main groups due to the origins of fungi and host plant species: 1) invasive; 2) co-introduced; 3) conditional alien species.

The invasive fungal species have spread in Ekaterinburg city as parasites of native plants. Such species are most numerous among powdery mildew fungi (genus *Erysiphe*). Their appearance in the territory of Ekaterinburg is a consequence of their wide-scale invasions in Europe or the temperate climate zone of whole Eurasia. A striking example of such species is *Ophiostoma novo-ulmi*, causing Dutch elm disease; this fungus has become a common pathogen in the natural range of *Ulmus* species 1970s (Desprez-Loustau, 2009). The other potentially dangerous pathogens of pines would be *Cyclaneusma minus* and *Diplodia sapinea*, if they will get the ability to infect the native pine species *Pinus sylvestris* (Desprez-Loustau, 2009).

Co-introduced alien species form the second (and the largest) group represented mostly by specialized plant pathogens that “follow” their host plants. The appearance of these species in Ekaterinburg is a consequence of co-introduction (coupled introduction) of fungi and their host plants in the region (or invasion of host plants). Many of such species have spread thousands of kilometers within the secondary range of their host plants, often from one to another continent, or from one part of the world to another one (Desprez-Loustau, 2009). Those are fungi associated with plants originating in North America: *Acervuloseptoria fraxini* on *Fraxinus pennsylvanica* and *Ragnhildiana ampelopsidis* on *Parthenocissus quinquefolia*, as well as the Central, East and South Asian species: *Cytospora parasitica* on *Malus baccata*, *Neophloeospora maculans* on *Morus alba*, *Juglanconis oblonga* and *Ophiognomonium leptostyla* on *Juglans mandshurica*. However, many introduced alien plant and fungal species were removed within Eurasia continent from its west (Europe, Caucasus), central (Central Asia) or east parts (Eastern Asia).

Conditional alien fungi are usually associated with woody plants of genera having edge of their natural ranges in the Middle Urals: *Acer platanoides*, *Corylus*

avellana, *Malus sylvestris*, *Populus alba*, *Quercus robur*, *Rhamnus cathartica*, and some other plants (Gorchakovskiy et al., 1994). The appearance of fungal species associated with such plants in Ekaterinburg can be considered as a “step beyond the natural range” following the introduction of host plants. However, a part of this group also can be treated as invasive species (in Europe at general), for example, *Erysiphe alphitoides* and *E. corylacearum* (Desprez-Loustau, 2009; Braun, Cooke, 2012).

An interesting case is the two species found on *Acer negundo*, *Phaeobotryon negundinis* and *Neodidymelliopsis negundinis*; the latter species was found not only on the ash-leaved maple *Acer negundo*, but also on the European spindle tree *Euonymus europaeus* (Hyde et al., 2018). Thus, it may be an invasive fungal species introduced from North America, or poor-known Eurasian species infecting many plants. The origin of the *Thyrostroma* species (*Thyrostroma tiliae* and *T. ulmicola*) is still unclear, too; most likely, they are Central Asian species (Senwana et al., 2017).

The study was supported by the Russian Science Foundation (project № 22-26-00228). The authors are grateful to O.A. Kiseleva (Ekaterinburg) for providing fungal specimens.

REFERENCES

- Ariyawansa H.A., Phukhamsakda C., Thambugala K.M. et al. Revision and phylogeny of *Leptosphaeriaceae*. Fungal Diversity. 2015. V. 74 (1). P. 19–51. <https://doi.org/10.1007/s13225-015-0349-2>
- Blagoveshchenskaya E.Yu. Phytopathogenic micromycetes: educational keybook. Moscow, 2015 (in Russ.).
- Butin H. Krankheiten der Wald- und Parkbaume: Diagnose, Biologie, Bekämpfung. Stuttgart etc., 1989.
- Braun U. A monograph of *Cercospora*, *Ramularia* and allied genera (phytopathogenic *Hyphomycetes*). V. 2. IHW-Verlag, Eching bei Munchen, 1998.
- Braun U., Cook R.T.A. Taxonomic manual of the *Erysiphales* (powdery mildews). CBS Biodiversity series. V. 11. APS Press, Utrecht, 2012.
- Braun U., Melnik V.A. Cercosporoid fungi from Russia and adjacent countries. Proceedings of the Komarov Botanical Institute. V. 20. Russian Academy of Sciences, SPb., 1997.
- Bulgakov T.S., Shiryayev A.G. New finds of phyllo-trophic plant pathogenic microfungi in Ekaterinburg city and its suburbs. Mikologia i fitopatologiya. 2021. V. 55 (6). P. 405–410. <https://doi.org/10.31857/S0026364821060064>
- Bulgakov T.S., Shiryayev A.G. Powdery mildews (*Erysiphaceae*) on woody plants in urban habitats of Sverdlovsk Region (Russia). Mikologia i fitopatologiya. 2022. V. 56 (5). P. 323–331. <https://doi.org/10.31857/S002636482205004X>
- Chethana T.K.W., Liu M., Ariyawansa H.A. et al. *Splanchnonema*-like species in *Pleosporales*: Introducing *Pseudosplanchnonema* gen. nov. in *Massarinaceae*. Phytotaxa. 2015. V. 231 (2). P. 133–144. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.231.2.2>

- Crous P.W., Wingfield M.J., Schumacher R.K. et al. New and Interesting Fungi. 3. Fungal Systematics and Evolution. 2020. V. 6. P. 157–231. <https://doi.org/10.3114/fuse.2020.06.09>
- Daranagama D.A., Thambugala K.M., Campino B. et al. *Phaeobotryon negundinis* sp. nov. (Botryosphaerales) from Russia. Mycosphere. 2016. V. 7 (7). P. 933–941. <https://doi.org/10.5943/mycosphere/si/1b/2>
- Desprez-Loustau M.-L. Alien fungi of Europe. In: Handbook of alien species in Europe. Invading Nature–Springer Series in Invasion Ecology. Springer, Utrecht, 2009, pp. 15–28.
- Ellis M.B., Ellis J.P. Microfungi on land plants: an identification handbook. New enlarged edition. Richmond P.C., Slough, 1997. Farr D.F., Rossman A.Y. Fungal Databases, U.S. National Fungus Collections, ARS, USDA. <https://nt.ars-grin.gov/fungalDATABASES/>. Accessed 01.05.2023.
- Gorchakovskiy P.L., Shurova E.A., Knyazev M.S. Keys to vascular plants of the Middle Urals. Moscow, Nauka, 1994 (in Russ.).
- Hyde K.D., Chaiwan N., Norphanphoun C. et al. Mycosphere notes 169–224. Mycosphere. 2018. V. 9 (2). P. 271–430. <https://doi.org/10.5943/mycosphere/9/2/8>
- Jaklitsch W.M., Checa J., Blanco M.N. et al. A preliminary account of the Cucurbitariaceae. Stud. Mycol. 2018. V. 90. P. 71–118. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2017.11.002>
- Karatygin I.V. Key-book to fungi of Russia. The orders Taphrinales, Protomycetales, Exobasidiales, Microstromatales. Nauka, SPb., 2002 (in Russ.).
- Knudsen H., Vesterholt J. Funga Nordica. Agaricoid, boletoid, clavarioid, cyphelloid and gastroid genera. Copenhagen: Nordsvamp, 2012.
- Kuprevich V.F., Ulyanishchev V.I. Keys to rust fungi of the USSR. Part 1. Family Melampsoraceae and some Pucciniaceae species. Nauka i tekhnologiya, Minsk, 1975 (in Russ.).
- Malysheva E.F., Malysheva V.F., Justo A. Observations on *Pluteus* (Pluteaceae) diversity in South Siberia, Russia: morphological and molecular data. Mycol. Progress. 2016. V. 15 (8). P. 861–882. <https://doi.org/10.1007/s11557-016-1215-7>
- Mamaev S.A. Keys to the trees and shrubs of the Urals. Local and introduced species. UrB RAS, Ekaterinburg, 2000 (in Russ.). MycoBank: Fungal databases, Nomenclature and Species Banks. <http://www.mycobank.org/>. Accessed 01.08.2023.
- Naumov N.A. Fungi of the Urals. Notes of UOLE. 1915. V. 35. P. 1–53.
- Norphanphoun C., Doilom M., Daranagama D.A. et al. Revisiting the genus *Cytospora* and allied species. Mycosphere. 2017. V. 8 (1). P. 51–97. <https://doi.org/10.5943/mycosphere/8/1/7>
- POWO, 2023 Plants of the World Online <https://powo.science.kew.org/>. Accessed 03.05.2023.
- Ryvarden L., Melo I. Poroid fungi of Europe. Synopsis Fungorum. 2014. V. 31. P. 1–455.
- Senwana C., Wanasinghe D.N., Bulgakov T.S. et al. Towards a natural classification of *Dothidothia* and *Thyrostroma* in *Dothidothiaceae* (Pleosporineae, Pleosporales). Mycosphere. 2019. V. 10 (1). P. 701–738. <https://doi.org/10.5943/mycosphere/10/1/15>
- Shiryayev A.G., Kotiranta H., Mukhin V.A. et al. Aphyllophoroid fungi of Sverdlovsk Region (Russia). Biodiversity, distribution, ecology and the IUCN threat categories. Goschitsky Publ., Ekaterinburg, 2010.
- Shiryayev A.G., Stavishenko I.V. New and rare for Sverdlovsk Region species of basidiomycetes. Mikologiya i fitopatologiya. 2011. V. 45 (4). P. 345–349.
- Shiryayev A.G., Zmitrovich I.V., Shiryayeva O.S. Species richness of *Agaricomycetes* on hedge vines in Ekaterinburg City (Russia). Mikologiya i fitopatologiya. 2021. V. 55 (5). P. 340–352. <https://doi.org/10.31857/S0026364821050093>
- Shiryayev A.G., Zmitrovich I.V., Bulgakov T.S. et al. Global warming favors the development of a rich and heterogeneous mycobiota on alien vines in a boreal city under continental climate. Forests. 2022a. V. 13 (2). Art. 323. <https://doi.org/10.3390/f13020323>
- Shiryayev A.G., Zmitrovich I.V., Shiryayeva O.S. New and rare *Agaricomycetes* species on woody alien plants in Ekaterinburg City (Russia). Mikologiya i fitopatologiya. 2022. V. 56 (5). P. 350–356. <https://doi.org/10.31857/S0026364822050105>
- Shiryayev A.G., Zmitrovich I.V., Zhao P. et al. Fungal diversity of native and alien woody leguminous Plants in the Middle Urals. Contemporary Problems of Ecology. 2023. V. 16 (4). P. 403–425. <https://doi.org/10.1134/S1995425523040091>
- Sutton B.C. The *Coelomycetes*. Fungi imperfecti with pycnidia, acervuli and stromata. CMI, Kew, 1980.
- Teterevnikova-Babayana D.N. Fungi of the genus *Septoria* in the USSR. Publishing House of the Academy of Sciences of the Armenian SSR, Yerevan, 1987 (in Russ.).
- Ulyanishchev V.I. Keys to rust fungi of the USSR. Pt 2. Nauka i Tekhnologiya, Minsk, 1975 (in Russ.).
- Vellinga E.C. *Pluteus*. In: C. Bas, T.W. Kuyper, M.E. Noordeloos, E.C. Vellinga (eds). Flora Agaricina Neerlandica. V. 2. Rotterdam, 1990, pp. 31–55.
- Voglmayr H., Castlebury L.A., Jaklitsch W.M. *Juglanconis* gen. nov. on *Juglandaceae*, and the new family *Juglanconidaceae* (Diaporthales). Persoonia. 2017. V. 38 (1). P. 136–155. <https://doi.org/10.3767/003158517X694768>
- Благовещенская Е.Ю. (Blagoveshchenskaya) Фитопатогенные микромицеты: учебный определитель. Москва: URSS, 2015. 232 с.
- Горчаковский П.Л., Шурова Е.А., Князев М.С. (Gorchakovskiy et al.) Определитель сосудистых растений Среднего Урала. М.: Наука, 1994. 524 с.
- Каратыгин И.В. (Karatygin) Определитель грибов России. Порядки тафриновые, протомициевые, экзобазидиальные, микростромациевые. СПб.: Наука, 2002. 135 с.
- Купревич В.Ф., Ульянищев В.И. (Kuprevich, Ulyanishchev) Определитель ржавчинных грибов СССР. Ч. 1. Сем. Melampsoraceae и некоторые виды Pucciniaceae. Минск: Наука и техника, 1975. 336 с.

Мамаев С.А. (Мамаев) Определитель деревьев и кустарников Урала. Местные и интродуцированные виды. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 260 с.

Наумов Н.А. (Naumov) Грибы Урала // Записки УОЛЕ. 1915. Т. 35. С. 1–53.

Тетеревникова-Бабаян Д.Н. (Teterevnikova-Babayan) Грибы рода *Septoria* в СССР. Ереван: АН АрмССР, 1987. 479 с.

Ульянищев В.И. (Ulyanishchev) Определитель ржавчинных грибов СССР. Часть 2. Л.: Наука, 1978. 384 с.

Новые для Свердловской области (Средний Урал, Россия) виды грибов на чужеродных и местных видах древесных растений

А. Г. Ширияев^{а, #}, Т. С. Булгаков^{б, ##}, И. В. Змитрович^{с, ###}, О. С. Ширияева^{а, ####}, А. С. Будимиров^{а, #####}, В. А. Дудка^{с, #####}

^аИнститут экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия

^бФедеральный исследовательский центр Субтропический научный центр РАН, Сочи, Россия

^сБотанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

[#]e-mail: anton.g.shiryaev@gmail.com

^{##}e-mail: ascomycologist@yandex.ru

^{###}e-mail: iv_zmitrovich@mail.ru

^{####}e-mail: olga.s.shiryaeva@gmail.com

^{#####}e-mail: bas-2000eka@yandex.ru

^{#####}e-mail: dudkavasilij.a@gmail.com

Впервые для Свердловской обл. приводится информация о находках 75 видов грибов из отделов *Ascomycota* и *Basidiomycota*, которые формируют плодовые тела на чужеродных и местных видах древесных растений. Фитопатогенами являются 71% изученных видов.

Ключевые слова: биоразнообразие, инвазия, патогены растений, распространение грибов, Россия, чужеродные виды, *Ascomycota*, *Basidiomycota*

УДК 573.7 : 582.282

ВНЕКЛЕТОЧНАЯ ДЕТОКСИКАЦИЯ ЦИНКА ГРИБАМИ *PENICILLIUM CHRYSOGENUM* И *ASPERGILLUS NIGER*

© 2023 г. К. В. Сазанова^{1,2,3,*}, М. С. Зеленская^{2,**}, А. В. Корнеев^{2,***}, Д. Ю. Власов^{1,2,****}

¹Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, 197376 Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, 199034 Санкт-Петербург, Россия

³Санкт-Петербургский филиал Архива Российской академии наук, 196084 Санкт-Петербург, Россия

*e-mail: ksazanova@binran.ru

**e-mail: marsz@yandex.ru

***e-mail: a_v_korneev@list.ru

****e-mail: dmitry.vlasov@mail.ru

Поступила в редакцию 16.04.2023 г.

После доработки 25.05.2023 г.

Принята к публикации 25.05.2023 г.

Микроскопические грибы являются перспективными объектами для биоремедиации, благодаря их способности переводить металлы в менее подвижные и доступные для организмов формы. В выполненном исследовании показано, что грибы *Penicillium chrysogenum* и *Aspergillus niger* обладают физиологическими механизмами экстраклеточной детоксикации цинка при его исходной концентрации 250 мкмоль – 2 ммоль в среде. В концентрациях 250–500 мкмоль Zn способствует накоплению биомассы и обильному спороношению *A. niger* и *Penicillium chrysogenum*, а в концентрациях 1–2 ммоль подавляет рост грибов. Экстраклеточная детоксикация цинка грибом *Aspergillus niger* происходит путем образования двуводного оксалата цинка катсаросита, благодаря активному биосинтезу щавелевой кислоты. Основным механизмом детоксикации цинка *Penicillium chrysogenum* было образование фосфата цинка (гопеита). Образование фосфата цинка (гопеита) под действием гриба было установлено впервые. Ключевыми факторами, определяющими направление процессов образования внеклеточных минеральных фаз, являются количества продуцируемых грибами экстраклеточных полимерных соединений и щавелевой кислоты, а также изменение pH среды в процессе роста культур.

Ключевые слова: биоремедиация, детоксикация, оксалаты, органические кислоты, тяжелые металлы, экстраклеточный полимерный матрикс

DOI: 10.31857/S0026364823060089, EDN: TXQBNH

ВВЕДЕНИЕ

Геохимическая деятельность грибов имеет важное значение для функционирования экосистем. Грибы изменяют подвижность и биодоступность элементов, а также играют большую роль в преобразовании минералов (Gadd, 2010). На территориях, подверженных высокой антропогенной нагрузке и загрязненным избыточными концентрациями тяжелых металлов, способность грибов участвовать в изменении биодоступности элементов, проявляющих токсичность в определенных концентрациях, может быть использована для целей биоремедиации (Syed et al., 2020). Элементы, проявляющие токсичность в высоких концентрациях, такие как цинк, кадмий, хром, кобальт, медь, мышьяк, свинец, никель, селен, серебро, ртуть, сурьма и таллий, присутствуют в природе, но их концентрация многократно повышается в результате техногенного загрязнения природной среды (Расуна, Расуна, 2001; Камра, Castanas, 2008; Ashi-

khmina et al., 2018; Rehan, Alsohim, 2019). Грибы, благодаря их способности аккумулировать металлы в количествах, превышающих таковые в окружающей среде, чаще других организмов рассматриваются для использования в биоремедиации (Siddiquee et al., 2015). Кроме того, грибы обладают высокой степенью устойчивости к действию тяжелых металлов, что позволяет им выживать в среде с высокой концентрацией металлов и использовать физиологически активные механизмы их накопления (Mukhopadhyay et al., 2011; Tian et al., 2019; Chandran et al., 2014).

Взаимодействие грибов с металлами может происходить внутриклеточно и экстраклеточно (Sayer, Gadd, 2001; Gadd, 2001, 2007; Lúcia Leitão, 2009; Siddiquee et al., 2015). Внутриклеточное накопление элементов реализуется за счет поступления металлов через транспортеры на мембране. Попав в клетку, металл может быть иммобилизован внутри вакуолей. В механизмах иммобилизации

металлов могут участвовать органические кислоты или специфические белки (металлотионеины и фитохелатины, способные связывать металлы через SH-группы) (Siddiquee et al., 2015; Gadd, 2001, 2007).

Экстраклеточная иммобилизация металлов более эффективна, поскольку позволяет полностью избежать их токсического действия. Образование соединений с органическими кислотами снижает активность и токсичность свободных катионов металлов в почве или на минеральном субстрате и способствует выживанию грибов в среде с высоким содержанием токсичных металлов (Fomina et al., 2005; Munir et al., 2005; Abbas et al., 2014; Chandran et al., 2014). Среди низкомолекулярных органических кислот наиболее сильным связывающим агентом является щавелевая кислота. Формируя с рядом металлов устойчивые комплексы и/или нерастворимые соли (оксалаты), щавелевая кислота сильно снижает биодоступность металлов. Поэтому оксалатообразование рассматривается как высокоэффективный способ иммобилизации многих металлов (Munir et al., 2005; Chandran et al., 2014).

Многочисленные данные указывают на важную роль механизма сорбции металлов на поверхности клеточных стенок (Dhankhar et al., 2011; Mukhopadhyay et al., 2011; Chandran et al., 2014; Tian et al., 2019). Клеточная стенка может принимать участие в сорбции ионов даже при отсутствии физиологической активности (в мертвой биомассе). Внеклеточное накопление катионов может сопровождаться ионным обменом, приводящим к образованию комплексов, в которых катионы координируются органическими функциональными группами полимеров клеточной стенки (Siddiquee et al., 2015). Кроме полимеров клеточных стенок, во внеклеточной детоксикации металлов принимают участие полисахариды, гликопротеины и гликолипиды секретируемые грибами в среду и образующие так называемый матрикс экстраклеточных полимерных соединений (ЭПС) (De Veeck, 2021). Наличие в среде ЭПС многократно усиливает интенсивность сорбции металлов. Кроме того, в щелочной среде при участии ЭПС может происходить кристаллизация карбонатов металлов (Anbu et al., 2016; Zhu et al., 2016). В литературе имеются доказательства совместного осаждения карбонатов тяжелых металлов и карбоната кальция грибами (Zhao et al., 2022). В процессе кристаллизации кальцита тяжелые металлы могут быть включены путем замещения двухвалентных катионов Ca^{2+} (Kim et al., 2021). Кроме того, образование карбонатов тяжелых металлов, в том числе цинка, кадмия, свинца, лантана без участия кальция описаны для некоторых грибов, обладающих уреазной активностью: *Verticillium* sp., *Fusarium oxysporum*, *Neurospora crassa*, *Myrothecium gramineum*, *Pestalotiopsis* sp. (Li et al., 2017).

Существующие запатентованные методики удаления элементов из водных р-ров основаны на сорбции металлов полимерами клеточной стенки (Tan et al., 2003; Mukhopadhyay et al., 2011; Siddiquee et al., 2015; Ashikhmina et al., 2018). Однако при очистке почв и твердых минеральных субстратов эти методы неэффективны, поскольку со временем они приводят к высвобождению иммобилизованных или адсорбированных тяжелых металлов обратно в окружающую среду (Achal et al., 2011). Следовательно, необходимы альтернативные методы, эффективного, экономичного и экологически чистого удаления тяжелых металлов из окружающей среды, в том числе почв сельскохозяйственного назначения. В основу таких методов могут быть положены механизмы иммобилизации металлов в нерастворимые кристаллические фазы. На протяжении последних 10 лет идут активные разработки биотехнологий удаления тяжелых металлов из различных сред с использованием кальция биогенного происхождения (Anbu et al., 2016).

Наши предыдущие исследования, выполненные на грибах *Aspergillus niger* и *Penicillium* spp., продуцирующих в среду щавелевую кислоту, показали, что при исходной концентрации Zn в среде 2 ммоль *Aspergillus niger* активно образует оксалаты цинка. Механизмы же детоксикации цинка грибами рода *Penicillium* до конца не понятны (Sazanova et al., 2015). Вероятно, образование оксалатов цинка *Aspergillus niger* и их отсутствие в культурах *Penicillium* spp. связано с низким соотношением концентраций щавелевая кислота/Zn в культуральной жидкости изученных грибов рода *Penicillium*. Кроме того, на примере *Penicillium chrysogenum* было показано, что грибы этого рода, в отличие от *Aspergillus niger*, активно осаждают вторичный кальцит (Sazanova et al., 2020, 2023), что связано с их способностью продуцировать ЭПС. Эти свойства *Penicillium chrysogenum* могут эффективно участвовать и в иммобилизации цинка.

Цель данной работы – анализ биохимических свойств *Aspergillus niger* и *Penicillium chrysogenum*, способствующих реализации адаптивных механизмов этих грибов при культивировании на средах с различными концентрациями цинка.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Штаммы грибов и культивирование. Для исследования было использовано два штамма грибов: *Penicillium chrysogenum* (штамм Cs/21, номер в Генбанке OP758843) выделен из поверхностных наслоений на бронзовой скульптуре Геракла Фарнезского (ГМЗ “Царское Село”, г. Пушкин, Санкт-Петербург) и *Aspergillus niger* (штамм Ch4/07, номер в Генбанке KF768341) выделен с поврежденной поверхности мрамора (музей-заповед-

ник “Херсонес Таврический”, г. Севастополь, Крым).

Грибы культивировали поверхностным способом в матрасах для культивирования на жидкой питательной среде Чапека–Докса (г/л: глюкоза – 30; NaNO_3 – 2.0; KH_2PO_4 – 1.0; $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ – 0.5; KCl – 0.5; $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ – 0.01). Объем среды составлял 30 мл. В среду добавляли сульфат цинка в нескольких концентрациях: 250 мкмоль, 500 мкмоль, 1 ммоль и 2 ммоль/л. Контролем служили культуры, выращенные на среде без добавления цинка. Продолжительность культивирования составляла 7, 14, 21 и 28 сут. Опыты проводились в трехкратной повторности.

В ходе выполнения эксперимента анализировали следующие показатели: количество биомассы мицелия, количество ЭПС, pH среды, состав и количество органических кислот в среде, состав продуктов кристаллизации.

Световая и электронная микроскопия. Для изучения морфологии мицелия и первичной визуализации продуктов кристаллизации микропрепараты мицелия просматривали под микроскопом Микромед-2.

Для более детального анализа образовавшихся структур использовали сканирующую электронную микроскопию (СЭМ) и энергодисперсионную рентгеновскую спектроскопию (ЭДХ). Исследование проводили на микроскопе TM3000 (НИТАСИ, Япония). Для полуколичественного EDX-анализа микроскоп был оснащен системой Oxford Inca (Oxford Instruments, Abingdon, UK), которая работала в режиме низкого вакуума (60 Па) и при ускоряющем напряжении 15 кВ. Чтобы избежать эффекта зарядки на изображениях SEM, образцы были покрыты тонким слоем углерода (высоковакуумный угольный распылитель Q150TE). Спектры EDX анализировали с помощью пакета программ EDAX Genesis.

Анализ органических кислот в среде. Значения pH во время эксперимента оценивали с помощью pH-метра Checker 1 (HI 98103).

Для определения общего количества низкомолекулярных органических кислот, продуцируемых грибами, культуральную жидкость обрабатывали 3 мл концентрированной HCl для растворения нерастворимых оксалатов кальция и пропускали через катионит (КУ-2-8). Для определения содержания органических кислот в растворимой форме культуральную жидкость пропускали через катионит (КУ-2-8) без предварительной обработки HCl. Полученный водный р-р органических кислот выпаривали на ротаторном испарителе при 40°C. Высушенные экстракты растворяли в пиридине (50 мкл) и инкубировали с BSTFA (N,O-бис-3-метилсилил-3-F-ацетамид) (50 мкл) при 100°C в течение 15 мин. Дериватизированные образцы анализировали методом хромато-масс-

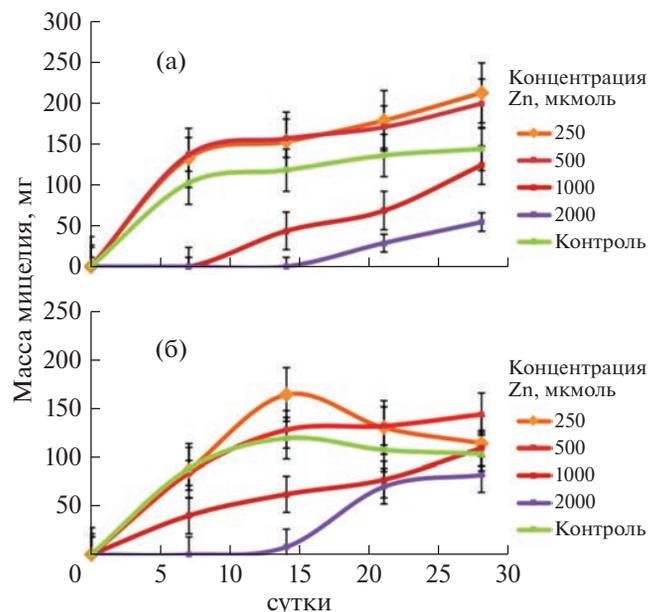


Рис. 1. Динамика роста биомассы мицелия *Aspergillus niger* (а) и *Penicillium chrysogenum* (б).

спектрометрии (ГХ-МС) на приборе Maestro (Interlab, Россия) с масс-селективным детектором Agilent 5975 (Санта-Клара, Калифорния, США). Использовали колонку HP-5MS 30 м × 0.25 мм × 0.25 мкм. Хроматографию проводили при запрограммированном линейном увеличении температуры от 70 до 320°C и при постоянном потоке газа-носителя (гелия) со скоростью 1 мл/мин. Масс-спектры сканировали в диапазоне 50–800 m/z с частотой 2 скана/с. Хроматограммы регистрировали по полному ионному току.

Масс-спектрометрическая информация была обработана и интерпретирована с использованием программы AMDIS (<http://www.amdis.net/index.html>) и стандартной библиотеки NIST2005. Количественную интерпретацию хроматограмм методом внутреннего стандарта также проводили с использованием тридекана в программе UniChrom (версия 5.0.19.1180) (<http://www.unichrom.com/unichrome.shtml>).

Определение биомассы и содержания ЭПС. Мицелий отделяли от культуральной жидкости, высушивали при 25°C и определяли его биомассу гравиметрическим методом. На рис. 1 каждый график соответствует количественным показателю биомассы с одной колбы (30 мл).

Для определения количества ЭПС культуральную жидкость центрифугировали при 11 000 об./мин в течение 10 мин. Собранный супернатант смешивали с равным объемом охлажденного льдом этанола и инкубировали при 4°C в течение 24 ч. Затем охлажденный р-р центрифугировали при 2500 об./мин в течение 20 мин. Полученные осадки ресуспендировали в дистиллированной воде

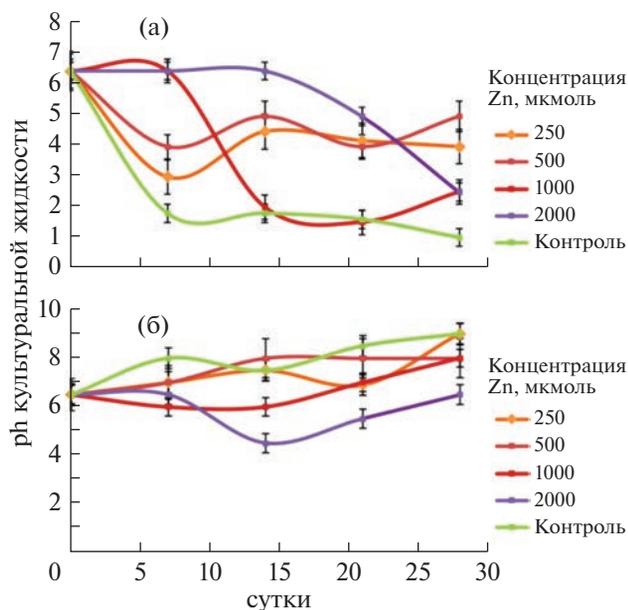


Рис. 2. Динамика изменения pH культуральной жидкости в процессе роста микромицетов *Aspergillus niger* (а) и *Penicillium chrysogenum* (б).

вместе с равным объемом ледяного этанола. Затем р-р снова центрифугировали при 2500 об./мин в течение 20 мин. Полученный конечный осадок сушили при комнатной температуре.

Порошковая рентгеновская дифракция. Измерения порошковой дифракции проводили с использованием дифрактометра Rigaku II Miniflex с излучением $\text{CuK}\alpha$ ($2\theta = 5-80^\circ$ с шагом 0.02°). Образец измельчали в ступке и осаждали на стеклянную кювету из спиртовой суспензии. Фон от кюветы измеряли отдельно и вычитали из полученной рентгенограммы образца. Фазовый состав определяли по базе данных PDF-2 (2019).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные результаты показали, что Zn в концентрациях 250–500 мкмоль оказывает стимулирующее действие на накопление биомассы *A. niger*, а в концентрациях 1–2 ммоль подавляет рост и спороношение *A. niger* (рис. 1а). При высокой концентрации Zn (1 и 2 ммоль) поверхностная пленка мицелия *A. niger* не формировалась, рост происходил преимущественно глубинным образом в виде пеллет, а спороношение отсутствовало. При концентрации цинка 2 ммоль рост мицелия начался только на третью неделю с момента инокуляции.

На рост биомассы *Penicillium chrysogenum* Zn оказывал выраженное ингибирующее действие только при концентрации 2 ммоль (рис. 1б). Однако на морфологию мицелия и спороношение выраженное воздействие проявлялось также при

1 ммоль Zn: рост происходил преимущественно глубинным образом, отдельные фрагменты поверхностного мицелия имели кожистую структуру, спороношение отсутствовало. В отличие от *Aspergillus niger*, в контроле и при низкой концентрации цинка динамика роста мицелия *Penicillium chrysogenum* имела фазу лизиса мицелия в стареющих культурах.

Кислотность среды в процессе роста грибов менялась по-разному у *Aspergillus niger* и *Penicillium chrysogenum*. *Aspergillus niger* сильно подкислял среду даже при минимальном росте мицелия (рис. 2а). Наименьшие показатели pH определялись в контроле. В варианте с *Penicillium chrysogenum* происходило защелачивание среды. Наименьшие показатели pH отмечались при самой высокой концентрации цинка 2 мкмоль (рис. 2б). В контроле и при концентрациях цинка 250–500 мкмоль значения pH среды, начиная с седьмых суток роста, находились в щелочной области (7.5–9).

Количество и состав органических кислот, продуцируемых грибами, сильно различались для двух видов (табл. 1). *Aspergillus niger* продуцировал щавелевую и лимонную кислоты. Лимонная кислота образовывалась преимущественно в контроле и преобладала по сравнению со щавелевой. В культурах с Zn, напротив, лимонная кислота выделялась в минимальных количествах (почти в 10 раз меньше, чем щавелевая). Соотношение свободной и связанной в нерастворимые соли щавелевой кислоты зависело от концентрации цинка в среде: с увеличением концентрации цинка доля связанного в нерастворимые соли оксалата увеличивалась.

В культуральной жидкости *Penicillium chrysogenum* содержалась щавелевая кислота, а также в следовых количествах лимонная, янтарная и яблочная кислоты. Вся щавелевая кислота находилась в связанной форме. Ее количество было более чем в 10 раз ниже, чем в культуральной жидкости *Aspergillus niger*. Оба вида грибов продуцировали в среду экстраклеточные полимерные соединения, осаждаемые спиртом (рис. 3). Следует отметить, что помимо органических полимеров, осаждаемый при центрифугировании осадок содержал продукты кристаллизации, находившиеся в культуральной жидкости. В целом количество ЭПС, продуцируемых *Penicillium chrysogenum*, было в 1.5–2 раза больше, чем у *Aspergillus niger*. ЭПС накапливались с возрастом культур. Цинк оказывал стимулирующее действие на накопление ЭПС в среде в концентрации 250–500 мкмоль у обоих штаммов, а у *Penicillium chrysogenum* также и при высоких концентрациях 1–2 ммоль. У *Aspergillus niger* абсолютное количество ЭПС при этих концентрациях цинка было меньше, чем в контроле, но количество ЭПС относительно биомассы мицелия, напротив, выше.

Таблица 1. Содержание шавелевой кислоты в культуральной жидкости грибов

Сут	Форма содержания	Контроль	Zn 250 мкмоль	Zn 500 мкмоль	Zn 1 ммоль	Zn 2 ммоль
<i>Aspergillus niger</i>						
14	Шавелевая кислота, мкг/мл					
	растворимая	197 ± 20*	127 ± 22	155 ± 28	187 ± 34	—
	связанная	180 ± 35	344 ± 43	480 ± 47	640 ± 56	—
	Лимонная кислота, мкг/мл					
28	Шавелевая кислота, мкг/мл					
	растворимая	222 ± 36	204 ± 25	110 ± 18	155 ± 37	102 ± 8
	связанная	257 ± 29	388 ± 56	522 ± 28	720 ± 66	684 ± 73
	Лимонная кислота, мкг/мл					
	растворимая	449 ± 39	57 ± 18	52 ± 21	38 ± 7	—
<i>Penicillium chrysogenum</i>						
14	Шавелевая кислота, мкг/мл					
	растворимая	—	—	—	—	—
	связанная	64 ± 8	86 ± 22	104 ± 9	92 ± 11	—
28	Шавелевая кислота, мкг/мл					
	связанная	48 ± 8	72 ± 11	122 ± 86	108 ± 22	82 ± 13

Примечание. *Среднее значение ± стандартное отклонение.

По данным рентгенофазового анализа (РФА) (рис. 4) и с помощью сканирующей электронной микроскопии (рис. 5), совмещенной с ЭДХ, установлено, что на гифах *A. niger* кристаллизуются двухводный оксалат цинка (аналог минерала катсаросита) при всех исходных концентрациях $ZnSO_4$ в среде. С увеличением концентрации Zn в среде количество образовавшихся кристаллов и их сростков увеличивалось. Размеры сростков кристаллов оксалата цинка увеличивались от 50 до 200 мкм по мере увеличения содержания Zn в среде (рис. 5). При концентрации Zn 250 мкмоль наблюдались единичные сростки кристаллов оксалата цинка с изоморфной примесью Mg. В мицелии в контроле кристаллических структур обнаружено не было.

У *Penicillium chrysogenum* в мицелии методом РФА (рис. 4) был обнаружен четырехводный фосфат цинка (аналог минерала гопеита). При высокой концентрации Zn (2 ммоль) на гифах формировались мелкие глобулы гопеита в большом количестве и они образовывали чехлы (рис. 6, а, б), а также формировались сферолиты таблитчатых кристаллов размером от 10 до 25 мкм (рис. 6, в). При промежуточных концентрациях Zn 1 ммоль и 500 мкмоль в мицелии образовывался четырехводный фосфат цинка в виде глобул на мицелии (содержание цинка 500 мкмоль) и сферолиты таблитчатых кристаллов размером от 25 до 100 мкм (содержание цинка 1 ммоль). При низкой концентрации Zn 250 мкмоль в мицелии при помощи

РФА не было обнаружено кристаллических структур, а по данным СЭМ-анализа наблюдалось только небольшое количество мелких (размером 5–10 мкм) кристаллов, предположительно, двухводного оксалата цинка с изоморфной примесью Mg. По дан-

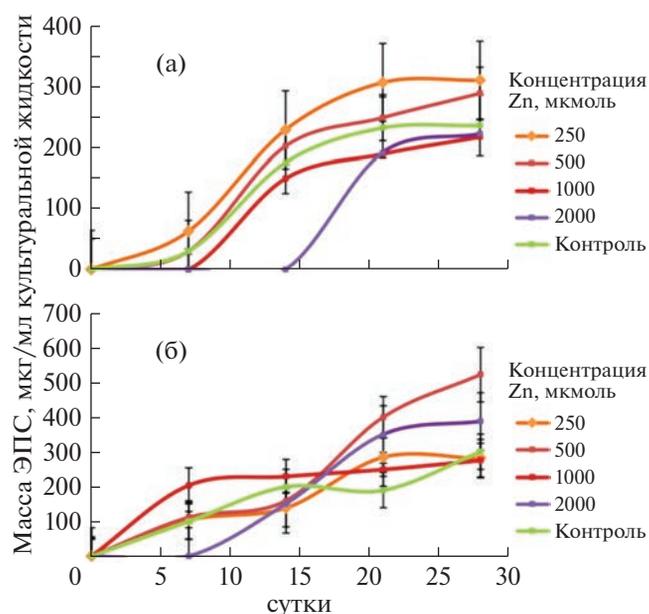


Рис. 3. Накопление ЭПС в культуральной жидкости микромицетов *Aspergillus niger* (а) и *Penicillium chrysogenum* (б).

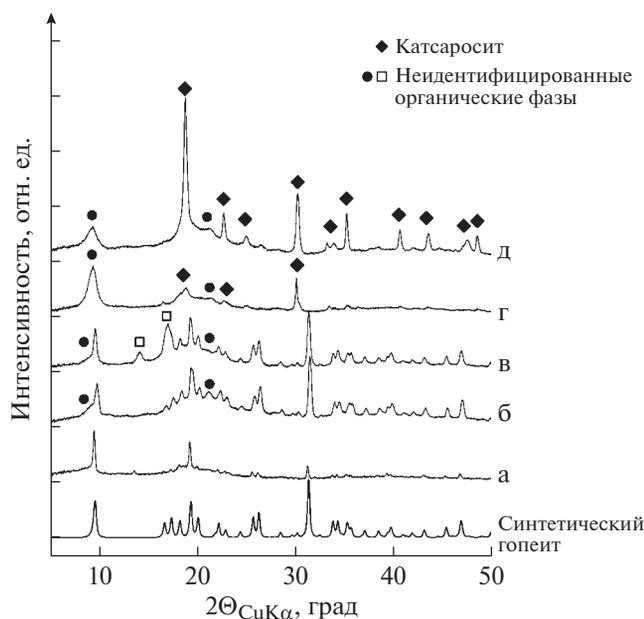


Рис. 4. Рентгенограммы аналогов минералов, образовавшихся в мицелии *Penicillium chrysogenum* (а – 500 мкмоль Zn, б – 1 ммоль Zn, в – 2 ммоль Zn) и *Aspergillus niger* (г – 250 мкмоль, д – 1 ммоль). Не подписанные дифракционные пики на рентгенограммах а, б и в (*Penicillium chrysogenum*) принадлежат четырехводному фосфату цинка (аналогу минерала гопеита).

ным ЭДХА глобулы на гифах и сростки кристаллов состоят в основном из Р и Zn.

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты показали, что оба вида грибов способны развиваться при концентрациях Zn в среде до 2 ммоль. В концентрациях 250–500 мкмоль Zn действует как физиологически необходимый микроэлемент, способствуя активно-

му росту и спороношению. При концентрациях более 500 мкмоль Zn подавляет рост мицелия и спороношение грибов, способствует изменению морфологии. Однако грибы реализуют физиологические механизмы, способствующие адаптации к цинку в высоких концентрациях. В культурах обоих видов грибов формируются минеральные кристаллические комплексы, включающие Zn. Продукты кристаллизации, содержащие цинк у *Aspergillus niger* и *Penicillium chrysogenum* различаются; соответственно физиологические механизмы уменьшения биодоступности катионов Zn^{2+} в среде у грибов не одинаковы.

Интенсивность продукции щавелевой кислоты, формирующей с цинком нерастворимые соли, у обоих видов возрастала под действием цинка во всех концентрациях. У *Aspergillus niger* под действием цинка также уменьшалось выделение лимонной кислоты, вероятно за счет большей потребности углерода для биосинтеза оксалата. Активирующее действие Zn на продукцию щавелевой кислоты подтверждено литературными данными (Fomina et al., 2005; Gadd, 2010), а также собственными исследованиями (Sazanova et al., 2015). У *Penicillium chrysogenum* 100% оксалата было связано в нерастворимые соли. В культуре же *Aspergillus niger* щавелевая кислота находилась в свободной и связанной формах. По мере увеличения концентрации Zn в среде количество связанной щавелевой кислоты увеличивалось, а свободной уменьшалось, что однозначно свидетельствует о ее роли в детоксикации избыточных количеств цинка. Оксалаты цинка были основной цинксодержащей кристаллической фазой, формирующейся под действием *A. niger* при всех концентрациях цинка в среде, что также указывает на первостепенную роль щавелевой кислоты в реализации механизмов детоксикации цинка.

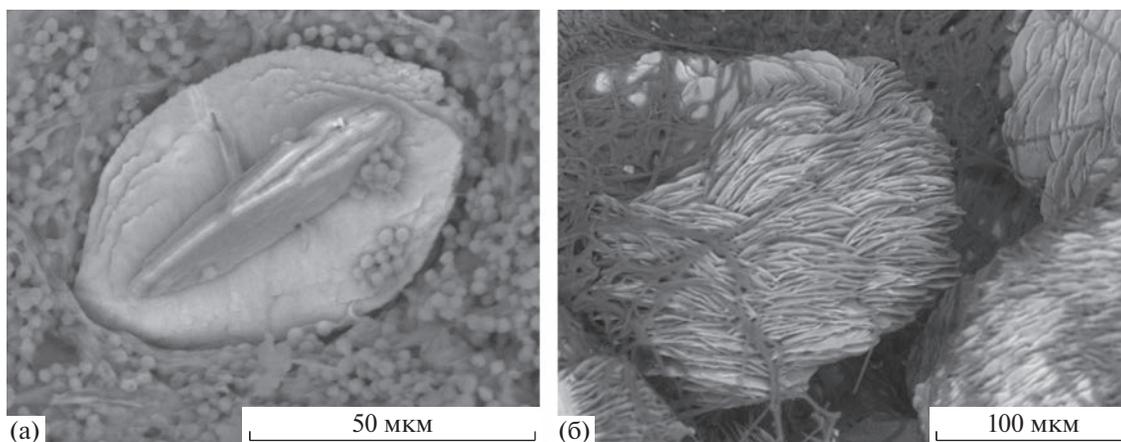


Рис. 5. СЭМ-изображения сростков кристаллов двуводного оксалата цинка (катсаросита) на мицелии *Aspergillus niger*: а – содержание Zn 250 мкмоль; б – содержание Zn 2 ммоль.

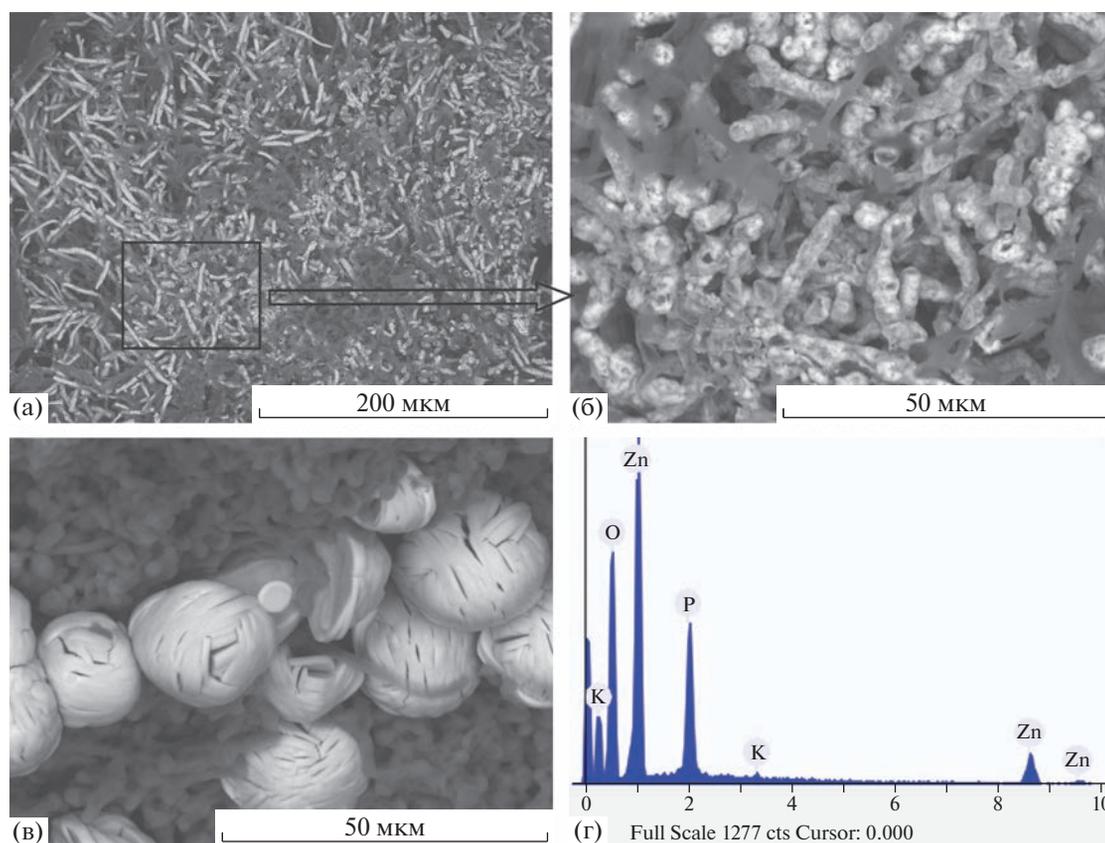


Рис. 6. СЭМ-изображения четырехводного фосфата цинка (гопеита) на мицелии *Penicillium chrysogenum* при концентрации Zn в среде 2 ммоль: глобулы в виде трубочек (а, б), сростки кристаллов (в) и ЭДХ-спектр глобул на гифах и сростков кристаллов (г).

Продукция ЭПС, напротив, была значительно выше в культуре *Penicillium chrysogenum* по сравнению с *Aspergillus niger*. Образование ЭПС грибами так же, как и щавелевой кислоты, усиливалось под действием цинка, что согласуется с литературными данными (Balasubramanian et al., 2019). При высокой концентрации цинка содержание ЭПС в некоторых случаях было ниже, чем в контроле, что, очевидно, связано с малым количеством биомассы мицелия, продуцирующего ЭПС.

Кристаллическая фаза в составе мицелия *Penicillium chrysogenum* представляла собой четырехводный фосфат цинка (аналог минерала гопеита). Формирование фосфата цинка грибами ранее не было описано. В литературе имеются данные только об образовании грибами хлорфосфата свинца пироморфита (Rhee et al., 2012; Xu et al., 2020). Скорее всего, фосфатные группы, взаимодействующие с цинком, входят в состав ЭПС и полимеров клеточной стенки. Процессы связывания катионов металлов с ЭПС происходят исключительно в щелочной среде (Anbu et al., 2016; Martino et al., 2016; Zhu et al., 2016), поэтому также важно, что *P. chrysogenum* защелачивает среду в процессе роста. Фермент уреазы, продуцируемый *P. chrysogenum*, гидролизует мочевину, что приводит к защелачиванию среды (Mahapatra, Banerjee, 2013). Уреазная активность, вероятно, определяет и уменьшение биомассы *P. chrysogenum* на 28-е сут: накапливающийся в результате гидролиза мочевины аммиак способствует лизису мицелия (Hess et al., 2006) при pH от 6.8 до 8.2 (Santamaria et al., 1988).

Таким образом, оба вида грибов продуцируют щавелевую кислоту, связывающую цинк в нерастворимые соли, и ЭПС, выполняющие роль сорбента свободных катионов с уменьшением содержания цинка в среде. Количественно *P. chrysogenum* продуцирует существенно больше ЭПС, *Aspergillus niger*, напротив, продуцирует значительно больше щавелевой кислоты по сравнению с *Penicillium chrysogenum*. В литературе имеются доказательства, что образование кислот грибами способствует растворению фосфата цинка (Fomina et al., 2004). Таким образом, избыток щавелевой кислоты препятствует образованию гопеита в культуре *Aspergillus niger*.

Образование оксалатов металлов, включая цинк, описано для некоторых видов грибов (Fomina et al., 2005; Munir et al., 2005; Chandran et al., 2014; Gadd et al., 2014; Abbas et al., 2014; Sutjaritvor-

akul et al., 2015; Sazanova et al., 2015; Vlasov, 2020). *A. niger* образует сростки оксалата цинка как при культивировании на среде с добавлением солей Zn, так и при росте на цинк-содержащих минералах (Vlasov et al., 2020). Тем не менее, до настоящего времени эффективность грибов *A. niger* для удаления из среды катионов токсичных металлов связывалась именно со способом адсорбции биомассой (Mukhopadhyay et al., 2011).

Penicillium chrysogenum активно образует оксалат кальция при наличии карбоната кальция в среде (Sazanova et al., 2023). Также некоторые виды рода *Penicillium* могут образовывать оксалаты свинца, меди, кадмия, кобальта (Glukhova et al., 2018; Xu et al., 2020). В настоящем исследовании методом РФА не выявлено оксалатов цинка в мицелии *P. chrysogenum* ни при одной из выбранных концентраций цинка, несмотря на то, что гриб продуцировал в среду щавелевую кислоту. Так как вся щавелевая кислота находилась в форме нерастворимых солей, скорее всего, оксалат цинка вместе с оксалатом магния все же присутствуют в виде взвеси или осадка в культуральной жидкости. В мицелии же оксалаты являются минорной фазой и количественно существенно уступают фосфату цинка.

Как и *Aspergillus niger*, *Penicillium chrysogenum* рассматривался ранее для использования в целях биоремедиации благодаря адсорбции металлов полимерами клеточной стенки (Tan et al., 2003). При этом авторы указывали на ключевую роль щелочных условий среды для реализации данного процесса. Основными сайтами хелатирования металлов являются аминогруппы хитозана в мицелии (Tan et al., 2003). Образование фосфата цинка гопеита грибом *P. chrysogenum* установлено нами впервые. Гопеит, как и фосфаты некоторых других металлов, имеет низкую растворимость ($K_{sp} = 10-35.5$), что указывает на потенциал его применения для восстановления почвы (Cotter-Howells, Caporn 1996).

Хотя штаммы *Aspergillus niger* Ch 4/07 и *Penicillium chrysogenum* Cs/21 были изолированы с поверхности мрамора и бронзы соответственно, эти виды являются обычными сапротрофами почв и растительных субстратов. Споры этих грибов легко переносятся ветром. В случае достаточного количества питательных веществ их рост возможен на самых различных субстратах (Salvadori, Municchia, 2015).

Полученные данные показали, что оба вида грибов обладают способностью переводить Zn в нерастворимые формы, уменьшающие его биодоступность и токсичность. Именно этот способ детоксикации может рассматриваться как наиболее эффективный для очистки почв или других твердых минеральных субстратов. Перевод металлов в нерастворимую минеральную фазу путем их связывания в минералы оксалаты и фосфаты может

быть использовано в дальнейшем для целей биоремедиации.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 21-74-00031 “Грибы и бактерии в биогеохимических циклах: трофические и аллелопатические взаимодействия, роль в детоксикации металлов”).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Abbas S.H., Ismail I.M., Mostafa T.M. et al. Biosorption of heavy metals: A review. J. Chemical Sci. Technol. 2014. V. 3 (4). P. 74–102.
- Achal V., Pan X., Zhang D. Remediation of copper-contaminated soil by *Kocuria flava* CR1, based on microbially induced calcite precipitation. Ecological Engineering. 2011. V. 37 (10). P. 1601–1605. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.06.008>
- Anbu P., Kang C.H., Shin Y.J. et al. Formations of calcium carbonate minerals by bacteria and its multiple applications. Springerplus. 2016. V. 5 (250). <https://doi.org/10.1186/s40064-016-1869-2>
- Ashikhmina T.Ya. (ed.). Microorganisms as agents of bio-monitoring and bioremediation of polluted soils. Kirov, 2018 (in Russ.).
- Balasubramanian B., Ilavenil S., Al-Dhabi N.A. et al. Isolation and characterization of *Aspergillus* sp. for the production of extracellular polysaccharides by response surface methodology. Saudi J. Biol. Sci. 2019. V. 26 (3). P. 449–454. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.10.015>
- Chandran S.C., Shijith K.V., Vipin K.V. et al. Study on heavy metals toxicity biomarkers in *Aspergillus niger*. IJAPBC. 2014. V. 3. P. 458–464.
- Cotter-Howells J.D., Caporn S. Remediation of contaminated land by formation of heavy metal phosphates. Appl. Geochem. 1996. V. 11. P. 335–342.
- De Beeck M.O., Persson P., Tunlid A. Fungal extracellular polymeric substance matrices – Highly specialized microenvironments that allow fungi to control soil organic matter decomposition reactions. Soil Biol. Biochem. 2021. V. 159. Art. 108304. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108304>
- Dhankhar R., Hooda A. Fungal biosorption – an alternative to meet the challenges of heavy metal pollution in aqueous solutions. Environ. Technol. 2011. V. 32. P. 467–491.
- Fomina M., Alexander I.J., Hillier S. et al. Zinc phosphate and pyromorphite solubilization by soil-plant-symbiotic fungi. Geomicrobiology J. 2004. V. 21. P. 351–366. <https://doi.org/10.1080/01490450490462066>
- Fomina M., Hillier S., Charnock J.M. et al. Role of oxalic acid overexcretion in transformations of toxic metal minerals by *Beauveria caledonica*. Appl. Environm. Microbiol. 2005. V. 71 (1). P. 371–381.
- Gadd G.M. Geomycology: Biogeochemical transformations of rocks, minerals, metals and radionuclides by fungi, bioweathering and bioremediation. Mycol. Res. 2007. V. 111. P. 3–49.
- Gadd G.M. Metals, minerals and microbes: geomicrobiology and bioremediation. Microbiology. 2010. V. 156. P. 609–643.

- Gadd G.M., Bahri-Esfahani J., Li Q. et al. Oxalate production by fungi: significance in geomycology, biodeterioration and bioremediation. *Fungal Biol. Rev.* 2014. V. 28. P. 36–55.
- Glukhova L.B., Frank Y.A., Danilova E.V. et al. Isolation, characterization, and metal response of novel, acid-tolerant *Penicillium* spp. from extremely metal-rich waters at a mining site in Transbaikal (Siberia, Russia). *Microbial Ecol.* 2018. V. 76. P. 911–924. <https://doi.org/10.1007/s00248-018-1186-0>
- Hess C.D., Lu W., Rabinowitz D.J. et al. Ammonium toxicity and potassium limitation in yeast. *PLOS Biol.* 2006. V. 4 (11). P. 2012–2023.
- Kampa M., Castanas E. Human health effects of air pollution. *Environ. Pollut.* 2008. V. 151. P. 362–367.
- Kim Y., Kwon S., Roh Y. Effect of divalent cations (Cu, Zn, Pb, Cd, and Sr) on microbially induced calcium carbonate precipitation and mineralogical properties. *Front. Microbiol.* 2021. V. 12. Art. 646748. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.646748>
- Leitão A.L. Potential of *Penicillium* species in the bioremediation field. *Int. J. Environm. Res. Public Health.* 2009. V. 6. P. 1393–1417. <https://doi.org/10.3390/ijerph6041393>
- Li Q., Gadd G.M. Fungal nanoscale metal carbonates and production of electrochemical materials. *Microbial Biotechnol.* 2017. V. 10 (5). P. 1131–1136. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12765>
- Mahapatra S., Banerjee D. Fungal exopolysaccharide: Production, composition and applications. *Microbiol. Insights.* 2013. V. 6. 1MBI-S10957.
- Martino P.D. What about biofilms on the surface of stone monuments? The Open Conference Proceedings J. 2016. V. 9. P. 14–28. <https://doi.org/10.2174/2210289201607020014>
- Mukhopadhyay M., Noronha S.B., Suraishkumar G.K. A review on experimental studies of biosorption of heavy metals by *Aspergillus niger*. *Can. J. Chem. Eng.* 2011. V. 89. P. 889–900.
- Mukhopadhyay M., Noronha S.B., Suraishkumar G.K. A review on experimental studies of biosorption of heavy metals by *Aspergillus niger*. *Can. J. Chem. Eng.* 2011. 89. P. 889–900.
- Munir E., Hattori T., Shimada M. Role for oxalate acid biosynthesis in growth of copper tolerant wood-rotting and pathogenic fungi under environmental stress. The 55th meeting of the Japan wood research society. Tokyo, 2005, pp. 1–7.
- Pacyna J.M., Pacyna E.G. An assessment of global and regional emissions of trace metals to the atmosphere from anthropogenic sources worldwide. *Environ. Rev.* 2001. V. 9 (4). P. 269–298.
- Rehan M., Alsohim A.S. Bioremediation of heavy metals, environmental chemistry and recent pollution control approaches. *IntechOpen.* 2019. <https://doi.org/10.5772/intechopen.88339>
- Rhee Y.J., Hillier S., Gadd G.M. Lead transformation to pyromorphite by fungi. *Current Biol.* 2012. V. 22. P. 237–241. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2011.12.017>
- Santamaria F., Reyes F. Proteases produced during autolysis of filamentous fungi. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 1988. V. 91. P. 217–220.
- Salvadori O., Municchia A.C. The role of fungi and lichens in the biodeterioration of stone monuments. The Open Conference Proceeding J. 2015. № 6 (Suppl 1: M 4). P. 70–82. <https://doi.org/10.2174/2210289201607020039>
- Sayer J.A., Gadd G.M. Binding of cobalt and zinc by organic acids and culture filtrates of *Aspergillus niger* grown in the absence or presence of insoluble cobalt or zinc phosphate. *Mycol. Res.* 2001. V. 105. P. 1261–1267.
- Sazanova (nee Barinova) K.V., Frank-Kamenetskaya O.V., Vlasov D.Y. et al. Carbonate and oxalate crystallization by interaction of calcite marble with *Bacillus subtilis* and *Bacillus subtilis* – *Aspergillus niger* association. *Crystals.* 2020. V. 10. P. 756. <https://doi.org/10.3390/cryst10090756>
- Sazanova K., Osmolovskaya N., Schiparev S. et al. Organic acids induce tolerance to zinc- and copper-exposed fungi under various growth conditions. *Current Microbiol.* 2015. 70 (4). P. 520–527. <https://doi.org/10.1007/s00284-014-0751-0>
- Sazanova K.V., Zelenskaya M.S., Izatulina A.R. et al. Carbonate and oxalate crystallization effected by the metabolism of fungi and bacteria in various trophic conditions: The case of *Penicillium chrysogenum* and *Penicillium chrysogenum* with *Bacillus subtilis*. *Crystals.* 2023. V. 13. P. 94. <https://doi.org/10.3390/cryst13010094>
- Siddiquee S., Rovina K., Al Azad S. Heavy metal contaminants removal from wastewater using the potential filamentous fungi biomass: A review. *J. Microb. Biochem. Technol.* 2015. V. 7. P. 384–393.
- Sujaritvorakul T., Gadd G.M., Whalley A. et al. Zinc oxalate crystal formation by *Aspergillus nomius*. *Geomicrobiology.* 2015. V. 33 (3). <https://doi.org/10.1080/01490451.2015.1048395>
- Tan T., Che P. Biosorption of metal ions with *Penicillium chrysogenum*. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 2003. V. 104. P. 119–128.
- Tian D., Jiang Z., Jiang L. et al. A new insight into lead (II) tolerance of environmental fungi based on a study of *Aspergillus niger* and *Penicillium oxalicum*. *Environ. Microbiol.* 2019. V. 21. P. 471–479.
- Vlasov D.Yu. (ed.). *Aspergillus niger*. N.Y., 2020.
- Xu X., Hao R., Xu H. et al. Removal mechanism of Pb (II) by *Penicillium polonicum*: immobilization, adsorption, and bioaccumulation. *Scientific Reports.* 2020. V. 10. Art. 9079. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66025-6>
- Zhao J., Csetenyi L., Gadd G.M. Fungal-induced CaCO₃ and SrCO₃ precipitation: a potential strategy for bioprotection of concrete. *Sci Total Environm.* 2022. V. 816. Art. 151501. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151501>
- Zhu T., Dittrich M. Carbonate precipitation through microbial activities in natural environment, and their potential in biotechnology: A review. *Front. Bioeng. Biotechnol.* 2016. V. 4 (4). <https://doi.org/10.3389/fbioe.2016.00004>
- Ашихмина Т.Я. (ред.) (Asikhmina) Микроорганизмы как агенты биомониторинга и биоремедиации загрязненных почв. Киров, Науч. изд-во ВятГУ, 2018. 256 с.

Extracellular Zn Detoxication by *Penicillium chrysogenum* and *Aspergillus niger***K. V. Sazanova^{a,b,c,#}, M. S. Zelenskaya^{b,##}, A. V. Korneev^{b,###}, and D. Yu. Vlasov^{a,b,####}**^a*Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Science, 197376 St. Petersburg, Russia*^b*St. Petersburg State University, 199034 St. Petersburg, Russia*^c*Archive of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg Branch, 196084 St. Petersburg, Russia*[#]*e-mail: ksazanova@binran.ru*^{##}*e-mail: marsz@yandex.ru*^{###}*e-mail: a_v_korneev@list.ru*^{####}*e-mail: dmitry.vlasov@mail.ru*

Microfungi are promising objects for bioremediation due to their ability to convert metals into forms that are less mobile and accessible to organisms. The study showed that the fungi *Penicillium chrysogenum* and *Aspergillus niger* have physiological mechanisms of extracellular Zn detoxification at its initial concentration of 250 μmol – 2 mmol in the medium. At concentrations of 250–500 μmol Zn promotes the accumulation of biomass and abundant sporulation of *A. niger* and *Penicillium chrysogenum*, and at concentrations of 1–2 mmol inhibits the growth of fungi. Extracellular Zn detoxification in *Aspergillus niger* culture occurs by the formation of dihydrate zinc oxalate katsarosite, due to the active biosynthesis of oxalic acid in *A. niger*. The main mechanism of zinc detoxification in *Penicillium chrysogenum* culture was the formation of zinc phosphate hopeite. The formation of zinc phosphate hopeite under the action of the fungus was established for the first time. The key factors that determine the direction of the processes of formation of extracellular mineral phases are the amounts of EPS and oxalic acid produced by fungi, as well as changes in the pH of the medium during the growth of cultures.

Keywords: bioremediation, detoxification, extracellular polymer matrix, heavy metals, organic acids, oxalates

ГРИБЫ – ВОЗБУДИТЕЛИ БОЛЕЗНЕЙ РАСТЕНИЙ

УДК 632.4.01/08

ХАРАКТЕРИСТИКА СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ПОПУЛЯЦИИ *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* ПО ПРИЗНАКУ ВИРУЛЕНТНОСТИ И ПРЕДСТАВЛЕННОСТИ ИНВАЗИВНЫХ РАС *PstS1* И *PstS2*

© 2023 г. Е. Л. Шайдаюк^{1,*}, Е. И. Гультяева^{1,**}¹Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Санкт-Петербург, Россия

*e-mail: eshaydayuk@bk.ru

**e-mail: eigulyaeva@gmail.com

Поступила в редакцию 15.03.2023 г.

После доработки 15.04.2023 г.

Принята к публикации 23.05.2023 г.

В последние годы отмечается расширение ареала вредоносности желтой ржавчины. До недавнего времени в условиях Северо-Запада заболевание проявлялось спорадически. Однако в последние годы наблюдается его сильное развитие на образцах пшеницы, изучаемых на коллекционных посевах НИИ и госсортоучастков, а также отдельных производственных полях в Ленинградской обл. Цель данной работы – изучить вирулентность и расовый состав возбудителя желтой ржавчины в условиях Северо-Запада и провести молекулярный анализ образцов популяции на наличие инвазивных рас *PstS1* и *PstS2*. Листья образцов мягкой пшеницы с урединопустулами *Puccinia striiformis* собирали на производственных посевах, государственных сортоучастках и экспериментальных полях НИИ в 2020–2022 гг. Почти изогенные линии сорта Avocet (Av NIL): *Yr1*, *Yr5*, *Yr6*, *Yr7*, *Yr8*, *Yr9*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr17*, *Yr18*, *Yr24*, *Yr26*, *YrSp*, *Yr27* и сорта-дифференциаторы из международного [Chinese 166 (*Yr1*), Lee (*Yr7*, *Yr+*), Heines Kolben (*Yr6*, *Yr+*), Vilmorin 23 (*Yr3*), Mogo (*Yr10*, *YrMor*), Strubes Dickkopf (*YrSD*, *Yr25*, *Yr+*), Suwon 92/Omar (*YrSu*, *Yr+*)] и европейского [Hybrid 46 (*Yr4*, *Yr+*), Reichersberg 42 (*Yr7*, *Yr+*), Heines Peko (*Yr2*, *Yr6*, *Yr25*, *Yr+*), Nord Desprez (*Yr3*, *YrND*, *Yr+*), Compair (*Yr8*, *Yr19*), Carstens V (*Yr32*, *Yr25*, *Yr+*), Spaldings Prolific (*YrSP*, *Yr+*), Heines VII (*Yr2*, *Yr25*, *Yr+*)] наборов использовали для характеристики вирулентности патогена. Набор SCAR-маркеров (SCP19M24a1, SCP19M24a2, SCP19M26a1, SCP19M26a2) использовали для поиска инвазивных рас. Всего изучено 92 изоляты. Высокой эффективностью в фазе проростков характеризовались гены *Yr5*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr24*, *Yr26*. Изоляты, вирулентные к сортам-дифференциаторам Mogo (*Yr10*, *YrMor*) и Nord Desprez (*Yr3*, *YrND*, *Yr+*), не выявлены. Вирулентность к образцам с геном *Yr17* встречалась редко. 24 фенотипа вирулентности выявлено при использовании 29 тестеров вирулентности. Число аллелей вирулентности варьировало от 7 до 21. При этом различия между фенотипами *P. striiformis* на изученных сортах мягкой пшеницы были несущественными. Большинство из них объединились в общую группу. Незначительно дифференцировались две группы изолятов. Первая включала изоляты, характеризующихся минимальным числом аллелей вирулентности, вторая – с максимальным числом аллелей вирулентности. Молекулярный анализ северо-западной популяции выявил изоляты, относящиеся к инвазивной группе *PstS2* в 2020 и 2022 гг. Вирулентность их существенно не отличалась от других северо-западных фенотипов. Высокий эволюционный потенциал предопределяет необходимость проведения ежегодного мониторинга популяций патогена по признаку вирулентности и представленности инвазивных рас.

Ключевые слова: инвазивные расы, молекулярные маркеры, популяции, *Puccinia striiformis*, *Triticum aestivum*, *Yr*-гены

DOI: 10.31857/S0026364823060090, EDN: IZCPGE

ВВЕДЕНИЕ

Ржавчина – это группа широко распространенных и вредоносных болезней пшеницы во всем мире, требующая проведения постоянного мониторинга популяций патогена и иммуногенетических исследований растения-хозяина. Обусловлено это высокой миграционной способностью возбудителей и высокой скоростью их развития при благоприятных условиях окружающей

среды. На пшенице встречается три вида возбудителей ржавчины: *Puccinia triticina* Erikss., *P. graminis* Pers. и *P. striiformis* West., которые имеют различные экологические особенности, распространенность и значимость. Наиболее пластичным является возбудитель бурой ржавчины (*P. triticina*). Этот патоген способен развиваться в широком диапазоне температур, в связи с чем бурая ржавчина до недавнего времени доминировала повсе-

местно. Возбудитель стеблевой ржавчины *P. graminis* — более теплолюбивый вид. Его вредоносность преимущественно отмечается в регионах с континентальным климатом (Singh et al., 2015). Биологические особенности *P. striiformis* отличаются от *P. tritici* и *P. graminis*. Гриб успешно развивается в диапазоне относительно низких температур от 2 до 15°C и высокой влажности воздуха, в связи с чем желтая ржавчина приурочена к регионам с умеренным климатом (Chen, 2005).

В последние годы отмечается расширение ареала вредоносности желтой ржавчины. Эпифитотийное развитие заболевания в 2000 годах стали отмечать во многих странах и регионах (Зап. Европа, Китай, Средняя, Центральная и Вост. Азия, Сев. и Ю. Африка, Австралия, Сев. и Ю. Америка) (Koyshibaev, 2002; Novmøller et al., 2002; Chen, 2005; Wellings, 2011; Sharma-Poudyal et al., 2013; Chen et al., 2014; Brar, Kutcher, 2016; Walter et al., 2016; Ali et al., 2017; Kokhmetova et al., 2018, 2021). Обусловлено это появлением новых высокоагрессивных инвазивных рас (*PstS1* и *PstS2*), способных развиваться при высоких температурах, мутациями патогена по генам вирулентности и появлением новых рас, преодолевающих устойчивость резистентных сортов.

В России желтая ржавчина традиционно приурочена к предгорным районам Сев. Кавказа. Однако в последние годы ее стали отмечать и в других российских регионах: Центрально-Черноземном, Зап. Сибири, Поволжье, на Северо-Западе (Gulyaeva et al., 2022; Zeleneva et al., 2022). Основное проявление желтой ржавчины наблюдается на листьях. При сильном развитии заболевание может поразить колосковые чешуи, ости и зерно. В отличие от других видов ржавчины, паразитирующих на злаках, *P. striiformis* обладает свойством распространяться диффузно в тканях растения-хозяина. Образующиеся пустулы характеризуются линейным расположением на обеих сторонах листа, в результате чего иногда эту болезнь называют “полосатая ржавчина” (Kuznetsova, 1956). Возбудитель обладает широкой специализацией и может поражать многие виды злаков (Kuznetsova, 1956; Vogoayavlenskaya, 1962; Попов, 1979; Краева, Matveyenko, 1974). Промежуточным растением-хозяином являются виды рода *Berberis*, однако их роль в распространении инфекции в России не изучалась. Возобновление инфекции в весенний период возможно за счет экзогенного инокулюма и эндогенного: сохранения мицелия в тканях растений пшеницы и злаковой растительности. Имеется информация, что латентная инфекция может выдерживать достаточно низкие температуры (ниже –20°C) (Hendrix et al., 1966). Весной при благоприятных погодных условиях патоген возобновляет споруляцию. J. Zadoks и J. Bouwman (1985) показали, что в Нидерландах при благоприятных условиях развитие из перезимовавшей

инфекции одной пустулы на гектар посевов пшеницы способно вызвать эпифитотию. Важным фактором является также освещенность, от интенсивности которой зависят скорость диффузного развития патогена, длина латентного периода, тип инфекции и степень устойчивости сортов (Georgievskaya, 1966; Kaidash et al., 1975; Sharp, 1965; Stubbs, 1967). При раннем проявлении и высокой интенсивности развития вредоносность болезни может быть значительной.

Желтая ржавчина пшеницы на Северо-Западе отмечается спорадически. Изучение заболевания интенсивно проводили во Всесоюзном НИИ защиты растений в 1950–1970 гг. (Kuznetsova, 1956; Vogoayavlenskaya, 1962). В связи с возрастанием региональной значимости болезни, они были продолжены в 2020 гг. Источником инфекции в условиях Северо-Запада может быть воздушный занос из соседних западноевропейских стран, где в последние годы заболевание отмечается регулярно, а также местный инокулюм, сохраняющийся на диких злаках. Осенью в 2020–2022 гг. мы неоднократно наблюдали симптомы инфекции на злаковых травах на газонах и в лесополосах.

Цели данной работы — 1) изучить вирулентность и расовый состав возбудителя желтой ржавчины на образцах пшеницы, выращиваемых в Ленинградской обл. на производственных посевах, экспериментальных посевах научно-исследовательских учреждений и государственных сортоучастках; 2) с использованием молекулярных маркеров провести анализ северо-западной популяции на наличие инвазивных рас *PstS1* и *PstS2*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Листья образцов мягкой пшеницы с урединиопустулами *P. striiformis* собирали на производственных посевах, государственных сортоучастках (ГСУ) и экспериментальных полях НИИ в 2020–2022 гг. (табл. 1). В лаборатории листья разрезали на отрезки, раскладывали в чашки Петри и с одной стороны прикрывали ватным валиком, смоченном в 0.004%-м р-ре бензимидазола (Mikhailova et al., 1998). Чашки помечали в холодильничек (3–5°C). Это способствовало возобновлению спороношения патогена и его успешному проявлению при последующем культивировании. Отрезки листьев с отдельными урединиопустулами использовали для заражения 10–14-дневных растений универсально восприимчивого сорта пшеницы Michigan Amber. Их прикладывали к листьям пшеницы и закрепляли с помощью пищевой пленки (метод микрокамер). Сосуды с растениями переносили в темную камеру и инкубировали при температуре 10°C и влажности 100%. Спустя сутки микрокамеры снимали, и сосуды с растениями переносили в климатическую камеру Versatile Environmental Test Chamber MLR-352N

Таблица 1. Характеристика инфекционного материала *Puccinia striiformis*, собранного с мягкой пшеницы на Северо-Западе в 2020–2022 гг.

Год	Образец пшеницы	Место сбора	Изучено изолятов	Пораженность образца пшеницы в поле (%)	
2020	Павловская	СПб., опытное поле Пушкинских и Павловских лабораторий ВИР	2	30	
	Инна		2	30	
	Московская 39		2	30	
	Мироновская 808		2	30	
	Л 61263 (к-61263)		2	30–50	
	Селекционная линия Л1		2	10–20	
	Селекционная линия Л2		2	20	
	Сударыня		2	30–40	
	Thatcher <i>Lr26</i> (= <i>Yr9</i>)		2	30	
	Thatcher <i>Lr34</i> (= <i>Yr18</i>)		2	10	
	Thatcher		6	30–40	
	Линия Л-9		2	20	
	Московская 39		2	20	
	Метель		Ленинградская обл., Гатчинский р-н, Рождествено, ГСУ	4	10
	Скипетр			6	10–20
	Агата			2	5
	Ленинградская 6			2	5–10
Скипетр	8	20–40			
2021	Мироновская 808	СПб., опытное поле Пушкинских и Павловских лабораторий ВИР	2	10–20	
	Thatcher <i>Lr26</i>		2	30	
	Thatcher <i>Lr34</i>		2	5–10	
	Thatcher		2	30	
	Michigan Amber		4	30	
2022	Скипетр	Ленинградская обл., Гатчинский р-н, производственный посев	6	40–50	
	Орловская 22		2	10–15	
	Галина		2	10	
	Rawetta (к-67091)		2	10–20	
	Mandarin (к-67096)		2	10	
	Экстра		2	50–80	
	Архат		2	20	
	Кулич		2	30–40	
	Ленинградская 20		2	20–40	
	Марфа		2	1–5	
	Фаина		2	1–10	
Судьба	2	1–5			

Примечание. *Пораженность образца пшеницы в полевых условиях.

(16 ч – день, освещение 15000–20000 люкс, температура 16°C; 8 ч – ночь, температура 10°C). Спороношение патогена отмечали через 12–14 сут после заражения. Сбор инфекционного материала (уре-

диниоспор) проводили на 17–20-е сут с помощью вакуумного насоса со специальной насадкой.

Всего было изучено 92 изолята гриба, в том числе 44 в 2020 г., 20 – в 2021 г., 28 – в 2022 г. (табл. 1).

Почти изогенные линии сорта Avocet (Av NIL) (*Yr1*, *Yr5*, *Yr6*, *Yr7*, *Yr8*, *Yr9*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr17*, *Yr18*, *Yr24*, *Yr26*, *YrSp*, *Yr27*) и сорта-дифференциаторы из международного [Chinese 166 (*Yr1*), Lee (*Yr7*, *Yr+*), Heines Kolben (*Yr6*, *Yr+*), Vilmorin 23 (*Yr3*), Moro (*Yr10*, *YrMor*), Strubes Dickkopf (*YrSD*, *Yr25*, *Yr+*), Suwon 92/Omar (*YrSu*, *Yr+*)] и европейского [Hybrid 46 (*Yr4*, *Yr+*), Reichersberg 42 (*Yr7*, *Yr+*), Heines Peko (*Yr2*, *Yr6*, *Yr25*, *Yr+*), Nord Desprez (*Yr3*, *YrND*, *Yr+*), Compair (*Yr8*, *Yr19*), Carstens V (*Yr32*, *Yr25*, *Yr+*), Spaldings Prolific (*YrSP*, *Yr+*), Heines VII (*Yr2*, *Yr25*, *Yr+*)] наборов использовали для характеристики вирулентности патогена. Тип реакции определяли по шкале G. Gassner и W. Straib (1926). Растения с баллами 0–2 относили к устойчивым, а 3, 4 и X – к восприимчивым.

Для проведения анализа вирулентности споры суспензировали в малотоксичной для растений иммерсионной жидкости Noves 7100 (концентрация 10^6 спор/мл) и опрыскивали 10–12-дневные растения дифференциаторов с помощью аэрографа. Последующее инкубирование зараженных наборов проводили в условиях, аналогичных таковым при первичном размножении урединиообразов.

Вирулентность и фенотипы изолятов *P. striiformis* определяли на 29 выше представленных тестерах вирулентности (14 – Av NIL, 15 – сорта-дифференциаторы). Кроме того, для обозначения фенотипов применили международную номенклатуру обозначения рас на 15 сортах-дифференциаторах, где устойчивый тип реакции (R) обозначается как 0, восприимчивый (S) как 1 (первый дифференциатор 2^0 , второй 2^1 , третий 2^2 и т.д.). Суммарное значение обозначает номер расы. Например, если восприимчив только первый дифференциатор (2^0) – раса 1, если первый и второй ($2^0 + 2^1$), то раса 3, и т.д. При обозначении расы сначала был указан номер по международному набору, затем номер по европейскому набору с приставкой E (например, 1E3) (Gulyaeva, Shaydayuk, 2020). Статистическая обработка результатов анализа выполнена с использованием пакета программ GenAIEх.

Для поиска инвазивных рас использовали набор SCAR-маркеров [SCP19M24a1 (485 п.н.), SCP19M24a2 (385 п.н.), SCP19M26a1 (491 п.н.), SCP19M26a2 (262 п.н.)], подобранный S. Walter с соавторами (2016). У изолятов, относящихся к группе *PstS1*, выявляли ампликоны всех четырех маркеров, а у изолятов *PstS2* – трех маркеров (SCP19M24a1, SCP19M24a2 и SCP19M26a2). Экстракция ДНК из монопустульных изолятов выполнена по методике A.F. Justesen et al. (2002). Постановку ПЦР проводили по рекомендуемым разработчиками праймеров параметрам (Walter et al., 2016).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Тип реакции линий и сортов дифференциаторов при инокуляции изолятами *P. striiformis* с разных образцов пшеницы представлен в табл. 2. Высокой эффективностью в фазе проростков характеризовались гены *Yr5*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr24*, *Yr26*. Изоляты, вирулентные к сортам-дифференциаторам Moro (*Yr10*, *YrMor*) и Nord Desprez (*Yr3*, *YrND*, *Yr+*), не выявлены (табл. 2, 3). Большинство этих линий и сортов устойчивы к другим региональным российским популяциям *P. striiformis* (Gulyaeva et al., 2022). Соответственно, они могут быть рекомендованы для селекции пшеницы на устойчивость к желтой ржавчине в России.

Вирулентность к линии Av *Yr17* отмечена у изолятов, выделенных с сортов Сударыня, Метель и линии Л9 в 2020 г. Этот ген в регионах России характеризуется разной эффективностью по отношению к возбудителю желтой ржавчины, но полностью утратил эффективность в странах Западной Европы, что обусловлено широким возделыванием сортов с *Yr17*. Обнаружение в образцах северо-западной популяции изолятов, вирулентных к *Yr17*, указывает на их возможный занос с территории Западной Европы, поскольку сорта с этим геном в Северо-Западном регионе не возделываются. Однако они выращиваются в центрально-европейских регионах (Немчиновская 25, Токката, Одетта, Гаренда) и Сев. Кавказе (Морозко, Сварог, Маркиз, Гомер) (Gulyaeva et al., 2021).

Выявлено существенное варьирование изолятов по вирулентности к линиям с генами *Yr1*, *Yr7*, *YrSp*, *Yr27* и сортам Chinese 166 (*Yr1*), Strubes Dickkopf (*YrSD*, *Yr25*, *Yr+*), Hybrid 46 (*Yr4*, *Yr+*), Strubes Dickkopf (*YrSD*, *Yr25*, *Yr+*), Carstens V (*Yr32*, *Yr25*, *Yr+*), Spaldings Prolific (*YrSP*, *Yr+*). Частота вирулентных изолятов к большинству сортов-дифференциаторов была выше в 2020 г. и существенно снизилась в последующий период (табл. 3). Сходные значения частот вирулентных изолятов за три года наблюдений выявлены на линии Av *Yr1* и сорте Chinese 166, несущем этот ген, а также линии Av *YrSp* и сорте Spaldings Prolific.

Высокие частоты вирулентности (70–100%) отмечены на линиях с генами *Yr6*, *Yr8*, *Yr9*, *Yr18* и сортах-дифференциаторах Lee (*Yr7*, *Yr+*), Heines Kolben (*Yr6*, *Yr2*), Vilmorin 23 (*Yr3*, *Yr+*), Suwon 92/Omar (*YrSu*, *Yr+*), Reichersberg 42 (*Yr7*, *Yr+*), Heines Peko (*Yr2*, *Yr6*, *Yr25*, *Yr+*), Compair (*Yr8*, *Yr19*) и Heines VII (*Yr2*, *Yr25*, *Yr+*) (табл. 3). Таким образом, данные гены не эффективны по отношению к северо-западной популяции. Многие из этих генов утратили эффективность и в других странах мира (Sharma-Poudyal et al., 2013; Brar, Kutcher, 2016; Martínez-Moreno, Solís, 2019; Gangwar et al., 2021).

Северо-западная коллекция *P. striiformis* характеризовалась умеренным генетическим разнообразием.

Таблица 2. Тип реакции линий и сортов-дифференциаторов при инокуляции изолятами *Russinia striiformis*, выделенными из разных сортов мягкой пшеницы в фазе проростков

Образец мягкой пшеницы – источник инфекционного материала <i>P. striiformis</i>	Тип реакции (балл) на линиях и сортах-дифференциаторах																												
	Avocet Yr1	Avocet Yr5	Avocet Yr6	Avocet Yr7	Avocet Yr8	Avocet Yr9	Avocet Yr10	Avocet Yr15	Avocet Yr17	Avocet Yr18	Avocet Yr24	Avocet Yr26	Avocet YrSP	Avocet Yr27	Chinese 166	Lee	Heines Kolben	Vilmorin	Moro	Strubes Dickkopf	Suwon 92/Omar	Hybrid 46	Reishesberg 42	Heines Reko	Nord Desprez	Compair	Carstens V	Spaldings Profitic	Heines VII
Павловская	3	0	3	3	3	3	0	3	0;	3	1-2;	0	3	3	3	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	2;	3	3	3
Инна	3	0	3	3	3	3	0	0	0	3	0	0	2;	3	3	3	3	2;	0	3	3	0;	3	3	3	0	1-2;	3	3
Московская 39_1 ¹	3	0	3	3	3	3	0	0	1-2;	3	0	0	0	3	3	3	3	2;	0	3	3	0;	3	3	3	0	0-1;	3	3
Московская 39_2 ²	3	0	3	3	3	3	0	0	0	3	0	0	0	3	3	3	3	2;	0	3	3	0	3	3	3	0	2	3	3
Сударыня	3	0	3	2;	3	3	0	0	3	2;	0	0	3	3	3	3	3-4	2-3;	0;	3	3	0;	3	2;	3	0	2;	3	3
Thatcher 1 ³	0	0	3	2;	3	3	0	0	0	3	0	0	0	3	3	3	3	2-3;	0	3	3	3	2-3	3	3	0	3	3	3
Thatcher 2 ³	0	0	3	2;	3	3	0	0	0	3	0;	0	0	3	3	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	0	3	3	3
Thatcher 3 ³	0	0	3-4	2;	3	3-4	0	0	1;	3	2;	0	0	3	3	3	3	3	2-3;	0	3	3	3	3	3	2;	3	3	3
Мироновская 808	0	0	3	0-1;	3	3	0	0	0	3	2;	0	0	3	3	3	3	3	2-3;	0	3	3	3	3	3	2	3	3	3
Линия J19	0	0	3	2-3	3	3	0	0	3	3	1-2;	1-2;	0	3	3	3	3	2-3;	0	3	3	3	3	3	3	0	3	3	3
ThatcherLr34	0	0	3	3	3	3	0	0	0;	3	1-2;	1-2;	0	3	3	3	3	2-3;	0	3	3	3	3	3	3	2;	3	3	3
ThatcherLr26	3	0	3	2-3;	3	3	0	0	0;	3	1-2;	1-2;	0	3	3	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	2;	3	3	3
Линия 1	0	0	3	0	3	3	0	0	0;	2-3	0	0;	0	3	3	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3
Линия 2	0	0	3	2;	3	3	0	0	0	2-3	0;	0;	0	3	3	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	0	3	3	3
Л 61263	0	0	3	2;	3	3	0	0	0	3	0-1;	0-1;	3	3	3	3	3	3	0;	3	3	3	3	3	3	1-2;	3	3	3
Метель 1 ³	3	0	3	2-3;	3	3	0	0	3	3	0	0;	0	3	3	3	3	3	0;	3	3	3	3	3	3	0;	3	3	3
Метель 2 ³	3	0	3	2-3;	3	3	0	0	3	3	0	0;	0	3	3	3	3	3	0;	3	3	3	3	3	3	0;	3	3	3
Скипетр 1 ³	0	0	3-4	2;	3	3	0	0	2;	2-3;	0-1;	0;	0	3	3	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	2;	3	3	3
Скипетр 2 ³	0	0	3	2;	3	3	0	0	2;	2-3;	2;	0	0	3	3	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	2;	3	3	3
Скипетр 3 ³	0	0	3-4	2;	3	3-4	0	0	1-2;	2-3;	0-1;	0	0	3	3	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	2;	3	3	3
Агата	0	0	3	3	3	3	0	0	2;	2;	0	2;	3	3	3	3	3	3	0;	3	3	3	3	3	3	2;	3	3	3
Ленинградская 6	0	0	3	3	3	3	0	0	2;	2;	0	2;	3	3	3	3	3	3	0;	3	3	3	3	3	3	2;	3	3	3
Скипетр 1 ⁴	0	0	3	2;	2-3;	3	0	0	0-2;	3	2;	2;	0	3	3	3	3	3-4	2-3	0;	3	3	3	3	3	0-1;	3-4	3	3

Таблица 2. Окончание

Образец мягкой пшеницы — источник инфекционного материала <i>P. striiformis</i>	Тип реакции (балл) на линиях и сортах-дифференциаторах																													
	Avocet Yr1	Avocet Yr5	Avocet Yr6	Avocet Yr7	Avocet Yr8	Avocet Yr9	Avocet Yr10	Avocet Yr15	Avocet Yr17	Avocet Yr18	Avocet Yr24	Avocet Yr26	Avocet YrSP	Avocet Yr27	Chinese 166	Lee	Heines Kolben	Vilmorin	Moro	Strubes Dickkopf	Suwon 92/Omar	Hybrid 46	Reishesberg 42	Heines Peko	Nord Desprez	Compair	Carstens V	Spaldings Profitic	Heines VII	
Скипетр ²⁴	0	0	3	2;	2-3;	3	0	0	0;	3	2;	2;	0	2-3;	0	3	3	2-3	0;	1-2;	3-4	2;	3	3	3	2;	3	3	2;	3
Мироновская 808	0	0	3	2;	3	4	0	0	2;	3-4	2;	0	0	3	0	3	3	2-3;	0;	3	3	2;	3-4	3-4	0;	3-4	2;	0-1;	3-4	
ThatcherLr26	3	0	3	2-3;	3	3-4	0;	0	0;	3	0;	0;	0	3	3	3	3	2-3;	0;	1-2;	3	3	3	3	2;	3-4	0	0;	2-3;	
Thatcher 1 ³	0	0	3	0;	3	3	0	0	0;	3	0;	0	0	3	0	3-4	3-4	2-3;	0;	3	3-4	3	3	3	2;	3-4	2-3;	0;	2-3	
Thatcher 2 ³	0	0	3	2;	3	3	0	0	0;	3	0;	0;	0	3	0	3-4	3-4	2-3;	0;	3	3-4	3	3	3	0;	3	2-3;	0;	3	
ThatcherLr34	0	0	3	2-3;	3	3	0	0	0;	3	0-1;	0-1;	0	2-3;	0	3-4	3-4	2-3;	0;	3	3-4	2;	3-4	3-4	2+	3-4	1-2;	0;	3	
Michigan Amber 1 ³	0	0	3	2;	3	3	0	0	0-1;	3	0	0-1;	0	2+	0	3-4	3	2-3;	0	3-4	3-4	3	3	3	0-2;	3	3	0;	3	
Michigan Amber 2 ³	0	0	3	0-1;	3-4	3	0	0	0;	3	0-1;	0-1;	0	1-2;	0	3-4	3-4	2-3;	0;	3	3-4	3-4	3-4	3	0;	3	3	0-1;	3-4	
2022																														
Скипетр 1 ⁵	0	0	3	0-2;	3	3	0	0	0-1;	3	0;	0;	0-1	3	0	3	3	2-3	0	0	2-3	2;	2-3	2-3	0;	3	2-3;	0-1;	2-3;	
Скипетр 2 ⁵	0	0	3	0	2;-3	3	0	0	0	3	0;	0	0-1	2-3;	0	3	3	2-3	0;	0;	2-3	2;	2-3	2-3	0;	3	2-3;	0-2;	2-3;	
Орловская 22	3	0	3	3	3	3	0	0	0	3	0	0	3-4	3	3	3	3-4	0	2-3	3	3	3	3	3	0;	0;	3	2-3;	3	
Галина	0	0	3	0-2;	2;	3	0	0	0	3	0;	0	0	2;	0	3-4	2;-3	3	0;	3	3	2-3	3-4	2-3	0;	3	2;	2;	2-3	
Д. 213	0	0	3	0;	3	3	0	0	2;	3	0	0;	2;	2;	0	3	3	3	0;	3	3	2	3	2	0	3	2;	2;	2;	
Д. 217	0	0	3	0;	3	3	0	0	0;	3	0;	0-1;	0-1;	3	0	3	3	0	0	0	2;-3	2	2;	2;	0;	3	2;	0;	2;	
Экстра	0	0	3	0;	3	2-3	0	0	0;	3	0;	0;	0-2	1-2;	0	3	2;-3	0;	0;	0	2-3;	0	0-2;	3	0;	0-2	0-2	0-2;	0-2;	
Архат	0	0	3	0	3	3	0	0	0	3	0	0	0	0-1;	0	3	3	2;	0;	1-2;	2-3	2;	2;	0;	3	2;	0-2;	2-3;	2-3;	
Кулич	0	0	3	1;	3	3	0	0	2;	3	0;	0;	0	0	0	3	3	3	0	2;	3	2;	2-3	2-3	0	0	2;	0;	2;	
Ленинградская 20	0	0	3-4	1-2;	3-4	0;	0	0	1-2	3	0-1;	0-1;	0-1;	0-2;	0	3	3-4	0;	0	0;	3-4	1-2;	2	2	0;	3-4	2;	0;	0-1;	
Марфа	0	0	3	1-2;	3	3	0	0	0-1;	3	0;	0	0	0-1;	0	3	3	2-3	0	2	3-4	2;	3-4	3-4	0-1;	2-3	2-3	1-2	3-4	
Фаина	3	0	3	3	3	3	0	0	0	3-4	0	0	3-4	3	3	3	3	3	0;	3	3	2-3	3	3	0;	0;	1-2	3	3	
Судьба	0	0	3	0-1	3	3	0	0	0;	3-4	0	0	0	1-2;	0	3	3	3	0;	3	2-3	3	3	3	0-1;	3-4	2;	2	3-4	

Примечание. ¹Сорт с опытного поля Пушкинских лабораторий ВИР; ²сорт с опытного поля ВИЗР; ³инфекционный материал *P. striiformis* собран с одного сорта, высеянного в нескольких повторностях (рандомизированно расположенные делянки); ⁴инфекционный материал *P. striiformis* собран на производственных посевах одного сорта с разных полей; ⁵инфекционный материал *P. striiformis* собран на производственном посеве одного сорта с разницей в 10 дней. Балл 0 — отсутствие симптомов; 0; — гибернующие пятна; 1 — мелкие пустулы с некрозом; 2; — мелкие, средние пустулы, окруженные некрозом или хлорозом; 3 — среднего размера пустулы без хлороза; 4 — крупные пустулы без хлороза; — и + — промежуточные типы реакции.

Таблица 3. Динамика вирулентности северо-западной популяции *Puccinia striiformis* в 2020–2022 гг.

Yr-гены	Линия, сорт пшеницы	Частота вирулентных изолятов, %			
		2020	2021	2022	Всего за 3 года
<i>Yr1</i>	<i>Yr1/6*Avocet S</i>	36	8	13	22
<i>Yr5</i>	<i>Yr5/6*Avocet S</i>	0	0	0	0
<i>Yr6</i>	<i>Yr6/6*Avocet S</i>	100	100	100	100
<i>Yr7</i>	<i>Yr7/6*Avocet S</i>	50	17	13	31
<i>Yr8</i>	<i>Yr8/6*Avocet S</i>	100	100	100	100
<i>Yr9</i>	<i>Yr9/6*Avocet S</i>	100	100	93	98
<i>Yr10</i>	<i>Yr10/6*Avocet S</i>	0	0	0	0
<i>Yr15</i>	<i>Yr15/6*Avocet S</i>	0	0	0	0
<i>Yr17</i>	<i>Yr17/6*Avocet S</i>	18	0	0	8
<i>Yr18</i>	<i>Yr18/6*Avocet S</i>	86	100	100	94
<i>Yr24</i>	<i>Yr24/6*Avocet S</i>	0	0	0	0
<i>Yr26</i>	<i>Yr26/6*Avocet S</i>	0	0	0	0
<i>YrSp</i>	<i>YrSP/6*Avocet S</i>	23	0	13	14
<i>Yr27</i>	<i>Yr27/6*Avocet S</i>	86	75	47	71
<i>Yr1</i>	Chinese 166	36	8	13	22
<i>Yr7, Yr+</i>	Lee	100	100	100	100
<i>Yr6, Yr2</i>	Heines Kolben	100	100	100	100
<i>Yr3, Yr+</i>	Vilmorin 23	86	92	73	84
<i>Yr10, YrMor</i>	Moro	0	0	0	0
<i>YrSD, Yr25, Yr+</i>	Strubes Dickkopf	64	92	33	51
<i>YrSu, Yr+</i>	Suwon 92/Omar	100	100	100	100
<i>Yr4, Yr+</i>	Hybrid 46	54	42	33	45
<i>Yr7, Yr+</i>	Reichersberg 42	95	100	73	90
<i>Yr2, Yr6, Yr25, Yr+</i>	Heines Peko	100	100	80	94
<i>Yr3, YrND, Yr+</i>	Nord Desprez	0	0	0	0
<i>Yr8, Yr19</i>	Compair	82	100	73	84
<i>Yr32, Yr25, Yr+</i>	Carstens V	73	67	40	61
<i>YrSP, Yr+</i>	Spaldings Prolific	23	0	7	12
<i>Yr2, Yr25, Yr+</i>	Heines VII	100	100	67	90
Восприимчивый контроль	Jupateco S, Avocet S	100	100	100	100
Число изолятов патогена		44	20	28	92

разием. 24 фенотипа вирулентности выявлено среди 92 изолятов при использовании 29 тестеров вирулентности (табл. 4). Число аллелей вирулентности варьировало от 7 до 21. Одинаковые фенотипы в 2020 г. наблюдали на сортах Инна и Московская 39 и селекционных линиях Л1 и Л2; в 2021 г. на сортах Московская 39, Инна, Мироновская 808, линии TcLr34 (= *Yr18*) и сорте Скипетр, возделываемом на разных производственных посевах. В 2022 г. общий фенотип отмечен на сортах Судьба и Галина. Изоляты с сорта Скипетр, которые были представлены во все три года исследований, относились к одному фенотипу. Сходные результаты наблюдали на сортах Мироновская 808,

Thatcher, линиях TcLr34 (= *Yr18*) и TcLr26 (= *Yr9*), анализируемых в 2020 и 2021 гг.

При использовании меньшего числа тестеров вирулентности (международного и европейского набора сортов-дифференциаторов) число рас соответственно было меньше (18), из них девять отмечены на двух и более сортах (табл. 4).

Генетические различия между фенотипами *P. striiformis* на изученных сортах мягкой пшеницы показаны на рис. 1. Большинство фенотипов объединились в общую группу, что указывает на их высокое генетическое сходство по признаку вирулентности. Незначительно отличались от них две группы изолятов. Первая включала изоляты с сор-

Таблица 4. Характеристика фенотипического состава *Puccinia striiformis* на образцах мягкой пшеницы на Северо-Западе в 2020–2022 гг.

Сорт пшеницы	Год	Фенотип*	Число аллелей вирулентности	Раса**
Павловская	2020	F_1	21	111E247
Инна	2020	F_2	16	103E166
Московская 39	2020	F_2	16	103E166
Мироновская 808	2020	F_5	14	110E150
Л 61263 (к-61263)	2020	F_10	18	110E247
Селекционная линия Л1	2020	F_9	13	78E151
Селекционная линия Л2	2020	F_9	13	78E151
Сударыня	2020	F_3	16	111E228
ThatcherLr26 (= Yr9)	2020	F_8	17	111E151
ThatcherLr34 (= Yr18)	2020	F_7	15	110E150
Thatcher	2020	F_4	16	110E183
линия Л-9	2020	F_6	16	110E150
Метель	2020	F_11	19	79E183
Скипетр	2021	F_12	14	78E182
Агата	2021	F_13	18	110E247
Ленинградская 6	2021	F_13	18	110E247
Мироновская 808	2021	F_5	14	110E150
ThatcherLr26 (= Yr9)	2021	F_8	17	111E151
Thatcher Lr34(= Yr18)	2021	F_7	15	110E150
Thatcher	2021	F_4	16	110E183
Michigan Amber	2021	F_14	15	110E183
Скипетр	2022	F_12	14	78E182
Орловская 22	2022	F_18	19	111E167
Галина	2022	F_17	14	110E151
Rawetta (к-67091)	2022	F_19	11	110E18
Mandarin (к-67096)	2022	F_20	9	70E16
Экстра	2022	F_15	8	40E4
Архат	2022	F_16	11	70E149
Кулич	2022	F_21	10	78E6
Ленинградская 20	2022	F_22	7	70E16
Марфа	2022	F_23	13	78E182
Фаина	2022	F_24	19	111E199
Судьба	2022	F_17	14	110E151

Примечание. *Условные обозначения фенотипов вирулентности изолятов при их тестировании на 29 тестерах вирулентности (14 Yr-линий и 15 сортов-дифференциаторов); **раса, определенная по международной номенклатуре на 15 сортах-дифференциаторах.

тов Экстра и Ленинградская 20, характеризующиеся меньшим числом аллелей вирулентности (7–8). Вторую группу составили изоляты с сортов Фаина, Орловская и Павловская с максимальным числом аллелей вирулентности (19–21).

При анализе северо-западной популяции 19 из 29 использованных тестеров вирулентности показали низкую эффективность для характеристики внутрипопуляционного полиморфизма. Преиму-

щественно к ним относились линии и сорта с высокоэффективными и малоэффективными Yr-генами. Фенотипический состав изолятов *P. striiformis*, собранных с нескольких участков одного сорта на ГСУ, был идентичным. Эта же тенденция прослеживалась на разных производственных посевах одного сорта. Образцы *P. striiformis*, собранные с одного сорта в начальный период появления болезни и в период ее массового развития, также

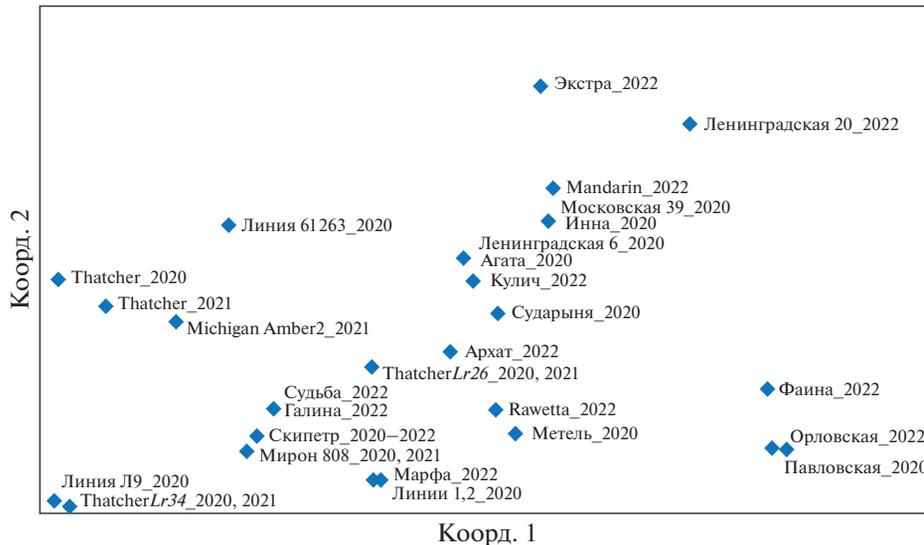


Рис. 1. Многомерная диаграмма генетических расстояний по признаку вирулентности северо-западных изолятов *Puccinia striiformis*, выделенных из разных генотипов пшеницы в 2020–2022 гг. (GenAlEx, Distance, Genetic).

имели сходный спектр вирулентности. При этом существенно различались по вирулентности изоляты, полученные с разных генетически защищенных от желтой ржавчины сортов пшеницы. Это указывает на то, что для характеристики внутривидового разнообразия патогена по признаку вирулентности следует включать в анализ образцы инфекции, собранные с максимально возможного числа сортов-хозяев. При этом достаточно провести анализ вирулентности сборного инфекционного образца (полученного с одного сорта), а для уточнения расы — проанализировать один-два монопустульных изолята. Анализ большего числа монопустульных изолятов необходим в случае изучения сборного инокулюма, собранного с разных сортов и полей.

Молекулярный анализ северо-западной популяции выявил изоляты, относящиеся к инвазивной в 2020 и 2022 гг. группе *PstS2*. Представители группы *PstS1* не обнаружены. В 2020 г. изоляты группы *PstS2* отмечены на озимом сорте Инна, выращиваемом на опытном поле Пушкинских и Павловских лабораторий ВИР (два изолята), и на яровых сортах Метель (два изолята) и Ленинградская 6 (один изолят), изучаемых на Гатчинском ГСУ в Рождествено и Волосово, соответственно. В 2022 г. к инвазивной группе относились два изолята с ярового сорта Марфа, изучаемого на Гатчинском ГСУ (Волосово). Вирулентность и фенотип этих изолятов показаны в табл. 2 и 4. Несмотря на принадлежность изолятов к инвазивной группе, они существенно не отличались по вирулентности от других фенотипов, обнаруженных на Северо-Западе. Фенотип инвазивного изолята на сорте Ленинградская 6 был идентичен собранно-

му на сорте Агата, а на сорта Инна — с Московской 39 (табл. 4).

Молекулярные генотипы других изолятов отличались от *PstS1* и *PstS2*. У них амплифицировались либо маркеры SCP19M24a2, SCP19M26a1, SCP19M26a2, либо SCP19M24a2 и SCP19M26a2. Первая группа изолятов доминировала.

Расовый состав *P. striiformis* в глобальном масштабе изучается в Global Rust Reference Center (GRRC) (Aarhus university, Denmark). В 2019–2021 гг. в этих исследованиях были представлены изоляты из Латвии (20, 1 и 2 изолята соответственно), а в 2021 г. — из Эстонии (3). Латвийские изоляты в 2019 г. были представлены фенотипами групп *PstS14* (90%), *PstS7* (10%) и *PstS10* (10%), в 2020 г. — *PstS17*, в 2021 г. — *PstS17* и *PstS15*. Все эстонские изоляты показали принадлежность к группе *PstS17*. Изоляты, относящиеся к группе *PstS17*, характеризуются вирулентностью к линиям *Yr*: 2, 6, 7, 8, 17, 32, Sp; *PstS15* к *Yr*: 1, 2, 3, 6, 7, 9, 17, 25, 32; *PstS14* к *Yr*: 2, 3, 6, 7, 8, 9, 17, 25, 32, Sp; *PstS10* к *Yr*: 1, 2, 3, 4, 6, 7, 9, 17, 25, 32, Sp; *PstS7* к *Yr*: 1, 2, 3, 4, 6, 7, 9, 17, 25, 32, Sp (Hovmöller et al., 2022). Отличием этих фенотипов от обнаруженных на Северо-Западе в 2021 г. была вирулентность к *Yr17*. Несмотря на то, что фенотипы *PstS17*, *PstS15*, *PstS14*, *PstS10*, *PstS7* не выявлены в северо-западной популяции, в целом их спектр вирулентности существенно не отличался. Группа фенотипов *PstS17*, впервые отмеченная в Латвии и Эстонии в 2021 г., ранее была зарегистрирована в Египте в 2018 г. и Турции в 2019 г. (Hovmöller et al., 2021), что указывает на высокую миграционную способность патогена и необходимость проведения ежегодного мониторинга его популяций.

Всего в глобальных исследованиях *P. striiformis* в GRRC определено 17 групп фенотипов *PstS*. Мы сравнили фенотипический состав северо-западной популяции *P. striiformis* с этими группами. Два фенотипа, представленных в GRRC, отмечены в северо-западной популяции. Один из них (*PstS2*,v3,v27) обнаружен на сорте ThatcherLr34, другой (*PstS16*) — на сорте Метель. По данным GRRC, группа *PstS2*,v3,v27 широко представлена в Вост. Африке, Зап. Азии и Ю. Америке, а *PstS16* — в Ю. Азии и Вост. Африке (Novmøller et al., 2022).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение расового состава на коллекционных посевах ГСУ и НИИ, где изучается большое количество генетически разнородных образцов пшеницы, позволяет наиболее полно охарактеризовать разнообразие патогена. Представляется возможным выявить группы рас, формирующихся на допущенных к использованию и новых перспективных сортах и селекционном материале. Как правило, на селекционных посевах сосредоточено большое количество рас патогена. В последующем некоторые из них становятся вредоносными для новых сортов, внедряемых в производство. Таким образом, информация о вирулентности и фенотипическом составе *P. striiformis* на районированных и перспективных российских сортах пшеницы в условиях северо-западных госсортоучастках позволяет оценить последующую ситуацию в производственных посевах.

Исследование северо-западной популяции *P. striiformis* показало ее высокую изменчивость по признаку вирулентности. Этому может способствовать воздушный занос уредниоспор из западноевропейских стран, где данное заболевание прогрессирует и представляет экономическую значимость, а также из других российских регионов, где заболевание проявляется в более ранние сроки. Ежегодно на Северо-Западе в осенний период наблюдается высокое развитие желтой ржавчины на злаковых сорняках и газонных травах, что способствует поддержанию локальной инфекции и ее успешному распространению на пшеницу и другие зерновые культуры.

Высокой эффективностью в регионе характеризуются гены *Yr5*, *Yr10*, *Yr15* и *Yr24*, и они могут быть рекомендованы для селекции на устойчивость. Вирулентность к образцам с геном *Yr17* была редкой для северо-западной популяции. Это может быть объяснено отсутствием в регионе возделываемых сортов с этим геном. Однако в случае внедрения таких сортов, следует учитывать, что вероятен занос вирулентных изолятов из западноевропейских стран. Для сохранения и продления срока “полезной жизни” данного гена рекомендуется его сочетание с другими высоко и частично эффективными *Yr*-генами.

В данных исследованиях северо-западной популяции в 2020 и 2022 гг. обнаружены изоляты, относящиеся к инвазивной группе рас *PstS2*. Вирулентность их существенно не отличалась от других северо-западных фенотипов. Однако по литературным данным они имеют высокий эволюционный потенциал, что указывает на необходимость проведения ежегодного мониторинга популяций патогена по признаку вирулентности и представленности инвазивных рас.

Исследования поддержаны Российским научным фондом, проект № 23-26-00042.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ali S., Rodriguez-Algaba J., Thach T. et al. Yellow rust epidemics worldwide were caused by pathogen races from divergent genetic lineages. *Front. Plant Sci.* 2017. V. 8. P. 1057.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01057>
- Bogoyavlenskaya R.A. Specialization of the species *Puccinia glumarum* (Schmidt) Eriks. et Henn. *Botanicheskiy zhurnal.* 1962. V. 47 (8). P. 197–201 (in Russ.).
- Brar G.S., Kutcher H.R. Race characterization of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, the cause of wheat stripe rust, in Saskatchewan and southern Alberta, Canada and virulence comparison with races from the United States. *Plant Dis.* 2016. V. 100. P. 1744–1753.
<https://doi.org/10.1080/07060661.2014.924560>
- Chen X.M. Epidemiology and control of stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) on wheat. *Can. J. Plant Pathol.* 2005. V. 27 (3). P. 314–337.
<https://doi.org/10.1080/07060660509507230>
- Chen X.M. Integration of cultivar resistance and fungicide application for control of wheat stripe rust. *Can. J. Plant Pathol.* 2014. V. 36 (3). P. 311–326.
<https://doi.org/10.1080/07060661.2014.924560>
- Gangwar O.P., Kumar S., Bhardwaj S.C. et al. Virulence and molecular diversity among *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* pathotypes identified in India between 2015 and 2019. *Crop Protection.* 2021. V. 148. P. 105717.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105717>
- Gassner G., Straib W. Untersuchungen Über die Infektionsbedingungen von *Puccinia glumarum* und *Puccinia graminis*. *Arb. Biol. Reichsanst. Land-Forst-wirtsch Berlin-Dahlem.* 1929. V. 16 (4). P. 609–629.
- Georgievskaya N.A. To the knowledge of the mass development of wheat yellow rust. *Trudy VIZR.* 1966. V. 26. P. 55–63 (in Russ.).
- Gulyaeva E., Shaydayuk E., Gannibal P. Leaf rust resistance genes in wheat cultivars registered in Russia and their influence on adaptation processes in pathogen populations. *Agriculture.* 2021. V. 11 (4). P. 319.
<https://doi.org/10.3390/agriculture11040319>
- Gulyaeva E.I., Shaydayuk E.L. Virulence of Russian populations of the stripe rust causal agent. *Mikologiya i fitopatologiya.* 2020. V. 54 (4). P. 299–304 (in Russ.).
<https://doi.org/10.31857/S0026364820040042>
- Gulyaeva E., Shaydayuk E., Kosman E. Virulence diversity of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in common wheat in Russian regions in 2019–2021. *Agriculture.* 2022. V. 12

- (11). P. 1957.
<https://doi.org/10.3390/agriculture12111957>
- Hendrix J.W., Lloyd E.H. Low temperature survival of the stripe rust fungus in host tissue. *Phytopathology*. 1966. V. 56 (2). P. 148.
- Hovmöller M.S., Justesen A.F., Brown J.K.M. Clonality and longdistance migration of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in north-west Europe. *Plant Pathol.* 2002. V. 51 (1). P. 24–32.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-3059.2002.00652.x>
- Hovmöller M.S., Patpour M., Rodriguez-Algaba J. et al. GRRC report of yellow and stem rust races 2022. GRRC, Aarhus, 2022. https://agro.au.dk/fileadmin/www.grcc.au.dk/International_Services/Pathotype_YR_results/GRRC_annual_report_2022.pdf
- Hovmöller M.S., Patpour M., Rodriguez-Algaba J. et al. GRRC report of yellow and stem rust races 2021. GRRC, Aarhus, 2021: <https://agro.au.dk/fileadmin/www.grcc.au.dk>
- Justesen A.F., Ridoutb C.J., Hovmöller M.S. The recent history of *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* in Denmark as revealed by disease incidence and AFLP markers. *Plant Pathol.* 2002. V. 51 (1). P. 13–23.
<https://doi.org/10.1046/j.0032-0862.2001.00651.x>
- Kaidash A.S., Shinkarev V.P., Afonin S.P. An increase in visible infection rates on wheat plants attacked by yellow rust as a result of mycelial growth in leaves. *Mikologiya i fitopatologiya*. 1975. V. 9 (1). P. 57–60 (in Russ.).
- Kokhmetova A., Rsaliev A., Malysheva A. et al. Identification of stripe rust resistance genes in common wheat cultivars and breeding lines from Kazakhstan. *Plants*. 2021. V. 10. P. 2303.
<https://doi.org/10.3390/plants10112303>
- Kokhmetova A., Sharma R., Rsaliev S. et al. Evaluation of Central Asian wheat germplasm for stripe rust resistance. *Plant Genet. Resour.* 2018. V. 16. P. 178–184.
<https://doi.org/org/10.1017/S1479262117000132>
- Koyshibaev M. About the international conference on yellow rust. *Mikologiya i fitopatologiya*. 2002. V. 36 (4). P. 83–85 (in Russ.).
- Krayeva G.A., Matveyenko A.N. Race composition of *Puccinia striiformis* West. on small grasses in the North Caucasus. *Mikologiya i fitopatologiya*. 1974. V. 8 (6). P. 521–523 (in Russ.).
- Kuznetsova R.A. Specialization of the species *Puccinia glumarum* and the role of grasses in the transmission of infection to cereals. Abstract Thesis ... Cand. Biol. All-Union Scientific Research Institute for Plant Protection (VIZR), Leningrad, 1956 (in Russ.).
- Martínez-Moreno F., Solís I. Wheat rust evolution in Spain: an historical review. *Phytopathologia Mediterranea*. 2019. V. 58 (1). P. 3–16.
https://doi.org/10.13128/Phytopathol_Mediterr-22561
- Mikhailova L.A., Gulyaeva E.I., Mironenko N.V. Methods for studying the structure of populations of the leaf rust causative agent. In: Guidelines for plant protection. VIZR, SPb., 1998, pp. 105–126 (in Russ.).
- Popov D.F. Local sources of yellow rust pathogen of wheat in the Altai. *Sibirskiy vestnik*. 1979. V. 3. P. 63–66 (in Russ.).
- Sharma-Poudyal D., Chen X.M., Wan A.M. et al. Virulence characterization of international collections of the wheat stripe rust pathogen, *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. *Plant Dis.* 2013. V. 97. P. 379–386.
<https://doi.org/10.1094/pdis01-12-0078-re>
- Sharp E.L. Prepenetration and postpenetration environment and development of *Puccinia striiformis* on wheat. *Phytopathology*. 1965. V. 55 (2). P. 198–203.
- Singh R.P., Hodson D.P., Jin Y. et al. Emergence and spread of new races of wheat stem rust fungus: Continued threat to food security and prospects of genetic control. *Phytopathology*. 2015. V. 105 (7). P. 872–884.
<https://doi.org/10.1094/PHYTO-01-15-0030-FI>
- Stubbs R.W. Influence of light intensity on the reactions of wheat and barley seedlings to *Puccinia striiformis*. *Phytopathology*. 1967. V. 57 (6). P. 615–619.
- Walter S., Ali S., Kemen E. et al. Molecular markers for tracking the origin and worldwide distribution of invasive strains of *Puccinia striiformis*. *Ecol. Evol.* 2016. V. 6 (9). P. 2790–2804.
<https://doi.org/10.1002/ece3.2069>
- Wellings C.R. Global status of stripe rust: A review of historical and current threats. *Euphytica*. 2011. V. 179 (1). P. 129–141.
<https://doi.org/10.1007/s10681-011-0360-y>
- Zadoks J.C., Bouwman J.J. Epidemiology in European. In: A.A. Roelfs, W.R. Bushnell (eds). The cereal rusts. Vol. 2: Diseases, distribution, epidemiology, and control. Acad. Press, Orlando, 1985, pp. 329–369.
- Zeleneva Y.V., Sudnikova V.P., Buchneva G.N. Immunological characteristics of soft winter wheat varieties in conditions of the CBR. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022. № 96. P. 95–99 (in Russ.).
<https://doi.org/10.21515/1999-1703-96-95-99>
- Богоявленская Р.А. (Bogoyavlenskaya) Специализация вида *Puccinia glumarum* (Schmidt) Eriks. et Henn. // Ботанический журнал. 1962. Т. 47 (8). С. 1197–1201.
- Георгиевская Н.А. (Georgievskaya) К познанию закономерностей развития желтой ржавчины пшеницы // Труды ВИЗР. 1966. № 26. С. 55–63.
- Гультяева Е.И., Шайдаюк Е.Л. (Gulyaeva, Shaydayuk) Вирулентность российских популяций возбудителя желтой ржавчины пшеницы // Микология и фитопатология. 2020. Т. 54. № 4. С. 299–304.
- Зеленева Ю.В., Судникова В.П., Бучнева Г.Н. (Zeleneva et al.) Иммунологическая характеристика сортов озимой мягкой пшеницы в условиях ЦЧР // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 96. С. 95–99.
- Кайдаш А.С., Шинкарев В.П., Афонин С.П. (Kaydash et al.) Увеличение степени видимого заражения растений пшеницы желтой ржавчиной за счет роста мицелия в листьях // Микология и фитопатология. 1975. Т. 9. № 1. С. 57–60.
- Койшибаев М. (Koyshibaev) О международной конференции по желтой ржавчине // Микология и фитопатология. 2002. Т. 36. № 4. С. 83–85.
- Краева Г.А., Матвеев А.Н. (Kraeva, Matveenko) Расовый состав *Puccinia striiformis* West. на злаках в условиях Северного Кавказа // Микология и фитопатология. 1974. Т. 8. № 6. С. 521–523.
- Кузнецова Р.А. (Kuznetsova) Специализация вида *Puccinia glumarum* и роль злаковых трав в передаче инфекции на зерновые культуры. Автореф. дисс. ...

канд. биол. наук. Л.: Всесоюзный научно-исследовательский институт защиты растений (ВИЗР), 1956. 20 с.

Михайлова Л.А., Гультяева Е.И., Мироненко Н.В. (Mikhailova et al.) Методы исследований структуры популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы //

Сборник методических рекомендаций по защите растений. СПб.: ВИЗР, 1998. С. 105–126.

Попов Д.Ф. (Поров) Местные источники возбудителя желтой ржавчины пшеницы в Алтайском крае // Сибирский вестник. 1979. № 3. С. 63–66.

Characterization of the Northwestern Population of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* on the Basis of Virulence and Representation of Invasive *PstS1* and *PstS2* Races

E. L. Shaydayuk^{a,#} and E. I. Gulytyaeva^{a,##}

^aAll Russian Institute for Plant Protection, St. Petersburg, Russia

[#]e-mail: eshaydayuk@bk.ru

^{##}e-mail: eigulytyaeva@gmail.com

The expansion of the area of significance of yellow rust was observed in the last years. Until recently, in the conditions of the North-West, the disease occurred sporadically. However, in recent years, its strong development has been observed on wheat samples studied on the collection fields of scientific research institutes and State variety plots, as well as on some commercial fields in the Leningrad region. The aim of this work is to study the virulence and racial composition of the yellow rust pathogen in the Northwest and to conduct a molecular analysis of population samples for the presence of invasive races *PstS1* and *PstS2*. Leaves of common wheat samples with of *Puccinia striiformis* urediniopustules were collected on commercial fields, State variety plots and experimental fields of the Research Institutes in 2020–2022. Near isogenic Avocet lines (Av NIL) with genes *Yr1*, *Yr5*, *Yr6*, *Yr7*, *Yr8*, *Yr9*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr17*, *Yr18*, *Yr24*, *Yr26*, *YrSp*, *Yr27* and differential varieties from international [Chinese 166 (*Yr1*), Lee (*Yr7*, *Yr+*), Heines Kolben (*Yr6*, *Yr+*), Vilmorin 23 (*Yr3*), Moro (*Yr10*, *YrMor*), Strubes Dickkopf (*YrSD*, *Yr25*, *Yr+*), Suwon 92/Omar (*YrSu*, *Yr+*)] and European [Hybrid 46 (*Yr4*, *Yr+*), Reichersberg 42 (*Yr7*, *Yr+*), Heines Peko (*Yr2*, *Yr6*, *Yr25*, *Yr+*), Nord Desprez (*Yr3*, *YrND*, *Yr+*), Compair (*Yr8*, *Yr19*), Carstens V (*Yr32*, *Yr25*, *Yr+*), Spaldings Prolific (*YrSP*, *Yr+*), Heines VII (*Yr2*, *Yr25*, *Yr+*)] sets used for characteristic of pathogen virulence. Set of SCAR markers (SCP19M24a1, SCP19M24a2, SCP19M26a1, SCP19M26a2) used for identification of invasive races. A total 92 isolates were studied. High effectiveness at the seedling stage had genes *Yr5*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr24*, *Yr26*. Isolates virulent to differential varieties Moro (*Yr10*, *YrMor*) and Nord Desprez (*Yr3*, *YrND*, *Yr+*) was not determined. Virulence to wheat genotypes with *Yr17* gene was rare. Twenty-four virulence phenotypes identified using 29 virulence testers. The number of virulence alleles varied from 7 to 21. At the same time, differences between the phenotypes of *P. striiformis* on the studied common wheat varieties were insignificant. Most of them have united in a common group. Two groups of isolates slightly differentiated from them. The first included isolates from varieties characterized by a smaller number of virulence alleles, the second – with the maximum number of virulence alleles. Molecular analysis of the northwestern population revealed isolates belonging to the invasive *PstS2* group in 2020 and 2022. Their virulence did not differ significantly from other northwestern phenotypes. The high evolutionary potential predetermines the need for annual monitoring of pathogen populations based on virulence and representation of invasive races.

Keywords: invasive races, molecular markers, *Puccinia striiformis*, populations, *Triticum aestivum*, *Yr*-genes

УДК 582.287 (575.1)

SIX SPECIES OF *AGARICOMYCETES*, NEW TO THE PAMIR-ALAY MOUNTAINS (UZBEKISTAN PART)

© 2023 Z. Sh. Islomiddinov^{a,*}, I. M. Mustafaev^{a,**}, S. V. Volobuev^{b,***}, A. Umar^{c,****}, B. S. Khabibullaev^{a,*****}, and Y. W. Lim^{d,*****}

^aInstitute of Botany, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, 100125 Tashkent, Uzbekistan

^bKomarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, 197022 St. Petersburg, Russia

^cDepartment of Botany, University of the Punjab, Quaid-e-Azam Campus, 54590, Lahore, Pakistan

^dSchool of Biological Sciences and Institute of Microbiology, Seoul National University, 08826 Seoul, South Korea

*e-mail: zoirjon0991@bk.ru

**e-mail: elyor-mustafaev@inbox.ru

***e-mail: sergvolobuev@binran.ru

****e-mail: ash.dr88@gmail.com

*****e-mail: bekh.xabibullaev@mail.ru

*****e-mail: ywlim@snu.ac.kr

Received May 17, 2023; Revised July 28, 2023; Accepted August 1, 2023

New data on basidiomycete species (*Crucibulum laeve*, *Ganoderma resinaceum*, *Leccinum duriusculum*, *Lentinus brumalis*, *Neolentinus cyathiformis*, and *Volvariella bombycina*) recorded for the first time for the Pamir-Alay ranges in Uzbekistan is presented. All collections were made within protected areas of the Zaamin National Nature Park, the Nuratau Nature Reserve, and the Kitab State Geological Reserve. Detailed information on studied specimens deposited in Tashkent Mycological Herbarium of the Institute of Botany of Academy of Sciences of Uzbekistan (TASM), including geographical coordinates, descriptions of localities, substrates and habitats, date of collection, as well as the herbarium numbers, is provided. The history of macrofungi studies in Pamir-Alay is briefly described.

Keywords: Basidiomycota, macrofungi, new records, Northern Turkestan Range, Nuratau Range, Pamir-Alay

DOI: 10.31857/S0026364823060041, **EDN:** IYUIIP

The Pamir-Alay is a mountain system in the south-east of Central Asia (Fig. 1), located on the territory of Tajikistan (in the northwest), Kyrgyzstan (in the west), and Uzbekistan (in the east) (Opała-Owczarek, Niedźwiedz, 2019). The Bobotog, North Turkestan, Molguzar, Nuratau, Hissar, and Zarafshan ranges of the Pamir-Alay Mountains are located in Uzbekistan. These ranges are known for its unique fauna and flora (Mustafaev, Islomiddinov, 2022; Shomurodov, Khabibullaev, 2022). These valuable areas have various plant communities, exhibiting excellent habitat for different macrofungi.

Studies on macrofungi in the Pamir-Alay started in the 20th century with collections made by the Russian scientists. The first detailed survey of fungi was carried out by Zaprometov (1928). Further studies were conducted by Rotkevich (1956) in the Guralash Reserve. Unfortunately, in these works no specimens are mentioned at all or there is no precise information about them. In addition, these studies were focused on phytopathogenic microfungi. Special studies on basidial macrofungi in the region were carried out by Petrova (1985, 1989). As a result, the researcher recorded 221 macromycete species in the Zaamin Nature Reserve. Several papers were published in the last ten years on the macrofungi from the Uzbek part of the Pamir-Alay

Mountains (Mustafaev, 2017; Gafforov et al., 2017; Gafforov et al., 2020; Wang et al., 2022). Apart from these publications, no efforts have been made to produce an extensive local database on macrofungi.

Based on preliminary results of mycological surveys conducted in this area from 2019 to the present time, it has been confirmed that there is a high level of macrofungal diversity in the Pamir-Alay Mountains (Fig. 1). The aim of this paper is to describe six *Agaricomycetes* species which are new to the Hissar, the Northern Turkestan and the Nuratau ranges.

The material was collected during field investigations in Yettikechu, Usmonlisoy, O'rikli soy areas of the Zaamin National Nature Park, Majrumsoy and Khatoysoy areas of the Nuratau State Reserve and the Kitab State Geological Reserve. Photographs of basidiomata were taken with a Nikon D-7500 digital camera to fix macroscopic characters *in situ*. For microscopic studies, we used an N-300M Optical Microscope (China) and 5% KOH as a mounting medium to revive fragments of dried specimens. Fungal taxa names are accepted according to the Index Fungorum (2023) database. Specimens are deposited in Tashkent Mycological Herbarium of the Institute of Botany of Academy of Sciences of Uzbekistan (TASM).

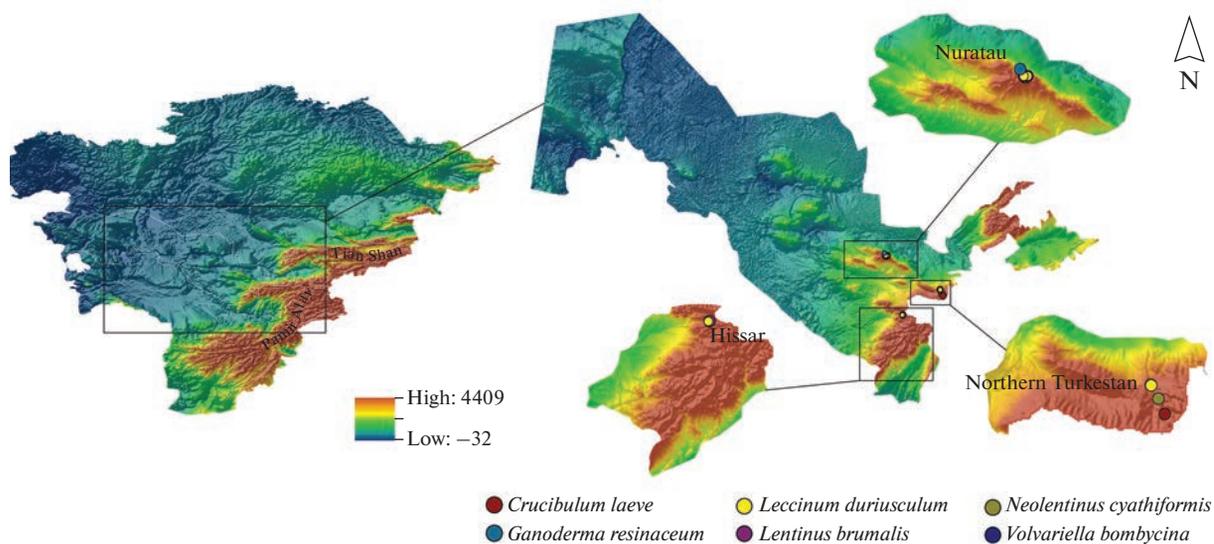


Fig. 1. The location of macrofungal collection sites in the Hissar, the Northern Turkestan and the Nuratau ranges of Uzbekistan. The map was compiled using ArcGIS (v. 10.8.1) software.



Fig. 2. Basidiomata of studied species *in situ*: a – *Crucibulum laeve*; b – *Ganoderma resinaceum*; c – *Leccinum duriusculum*; d – *Neolentinus cyathiformis*; e – *Lentinus brumalis*; f – *Volvariella bombycina* (photos Z.Sh. Islomiddinoy).

As a result of the investigation six basidiomycete species, viz. *Crucibulum laeve*, *Ganoderma resinaceum*, *Leccinum duriusculum*, *Lentinus brumalis*, *Neolentinus cyathiformis*, and *Volvariella bombycina*, have been revealed from the Pamir-Alay Mountains within Uzbekistan. An annotated list of species is presented below with detailed information on substrates and habitats, geographical coordinates, descriptions of localities, date of collection, as well as herbarium numbers of specimens.

Crucibulum laeve (Huds.) Kambly – on branches of dried fallen *Juniperus* sp. tree in juniper forest with mosses, around the waterfall (39.632887 N, 68.488241 E) in the Zaamin National Nature Park (TASM IZSH-120). **Note:** *C. laeve* is the most well-known temperate-zone species with a circum-polar distribution. It has been collected in most European countries, the Canary Islands, North America, South America, Australia, Japan, and New Zealand (Cruz et al., 2016). The species was mentioned in research conducted in Central Asia (Cho et al., 2019). However, *C. laeve* was not reported in Uzbekistan until our research. Moreover, *Crucibulum* is a new genus to Uzbekistan.

Ganoderma resinaceum Boud. – on decaying stump of *Salix alba* in Majrumsoy area (40.582034 N, 66.724072 E) of the Nuratau Nature Reserve (TASM IM-190m). **Note:** *G. resinaceum* is characterized by variable pileus coloration, fibrous spongy homogeneous context, and amyloid pileipellis (Ryvarden, 2004). We note *G. resinaceum* as a new record for the Nuratau Nature Reserve, Nuratau range.

Leccinum duriusculum (Schulzer ex Kalchbr.) Singer – on soil near poplars in the village of Korongusoy (39.771470 N, 68.401093 E) of the Zaamin National Nature Park; Tikchasoy (40.527072 N, 66.804108 E) and Khayotsoy (40.525032 N, 66.764421 E) areas of the Nuratau Nature Reserve (TASM IZSH-24, TASM IMM-45m). **Note:** The species is reported as a new to all Pamir-Alay ranges in Uzbekistan. *L. duriusculum* is characterized by large and robust basidiomata with greyish stem squamules and flesh turning grey to violaceous, often with blue-green in the stipe base (Kibby, 2006).

Lentinus brumalis (Pers.) Zmitr. – on decayed parts of *Artemisia* spp. in Korongusoy village (39.774504 N, 68.399589 E) of the Zaamin National Nature Park; in Tikchasoy (40.527072 N, 66.804108 E), Khayotsoy (40.525032 N, 66.764421 E) area of the Nuratau Nature Reserve (TASM IZSH-34, TASM IMM-99m). **Note:** The species is reported as a new to all Pamir-Alay ranges in Uzbekistan. More than 60 *Lentinus* species have been reported globally, but only two species of the genus were reported for Uzbekistan. Basidiomata of *L. brumalis* found in the Zaamin National Nature Park and the Nuratau Nature Reserve is characterized by cap with yellow-brown to dark brown surface, finely hairy, with depressed center and tucked fringed edge. In contrary to the vast majority of known findings of the species on dead wood (Ryvarden, Melo, 2017), our specimen was collected from an herbaceous plant.

Neolentinus cyathiformis (Schaeff.) Della Magg. et Trassin. – on fallen trunks of *Populus alba* in Usmonlisoy village (39.707113 N, 68.446782 E) of the Zaamin National Nature Park, Tikchasoy (40.515350 N, 66.780304 E), Khayotsoy, Majrumsoy area of the Nuratau Nature Reserve and the Kitab State Geological Reserve (TASM IZSH-55, TASM IMM-64m). **Note:** The species is reported as a new to all Pamir-Alay ranges in Uzbekistan. Although 14 species are accepted as *Neolentinus* worldwide (Wijayawardene et al., 2022), only one species has been registered in Uzbekistan.

Previously *N. cyathiformis* was recorded from the western part of the Tian Shan Mountains in Uzbekistan from the trunk of *Populus* sp. (Akhmedova, 1966). Our findings from *Populus alba* extend the distribution area of the species in Uzbekistan.

Volvariella bombycina (Schaeff.) Singer – on stump of *Populus* sp. in Qorongusoy village (39.772066 N, 68.402054 E) of the Zaamin National Nature Park and on *Juglans regia* stump in Tikchasoy area (40.506954 N, 66.781315 E) of the Nuratau Nature Reserve (TASM IZSH-155, TASM IMM-87m). **Note:** Among ca. 50 species accepted in the genus *Volvariella* worldwide (Wijayawardene et al., 2022), only three species are listed in the TASM herbarium for Uzbekistan. All morphological characters of our specimens studied, both macro- and microstructures, fit the description provided for *V. bombycina* by Menolli and Capelari (2008) and Szczepkowski with co-authors (Szczepkowski et al., 2013). Until this study, *V. bombycina* was reported by Akhmedova (1966) from the western part of the Tian Shan Mountains in Uzbekistan. New records of the species in the Uzbek part of the Pamir-Alay Mountains confirm wider distribution area of *V. bombycina*.

In conclusion, six *Agaricomycetes* species were recorded for the first time in the Uzbek part of the Pamir-Alay using the morphological identification. The knowledge on fungal diversity of this mountain system is essential to reinforce the nature protection programs, especially through the establishment of conservation areas, which are almost absent on the territory. Moreover, these records improve the knowledge on the diversity and distribution of fungal species in Uzbekistan.

The study was supported by the Ministry of Innovative Development of the Republic of Uzbekistan, project No AL-572103212.

REFERENCES

- Akhmedova F.G. Mycoflora of south-western slopes of Tian Shan. Cand. Sci. Thesis. Tashkent, 1966 (in Russ.).
- Cho S.E., Jo J.W., Kim N.K. et al. Macrofungal survey of the Tian Shan mountains, Kyrgyzstan. *Mycobiology*. 2019. V. 47 (4). P. 378–390. <https://doi.org/10.1080/12298093.2019.1661565>
- Cruz R., Baseia I.G., Hosaka K. Distribution data of bird's nest fungi in Japan: *Nidula niveotomentosa* and *Crucibulum laeve*. *Bull. Natnl Mus. Nat. Sci. Ser. B. Botany*. 2016. V. 42 (2). P. 49–55.
- Gafforov Y., Ordynets A., Langer E. et al. Species diversity with comprehensive annotations of wood-inhabiting poroid and corticioid fungi in Uzbekistan. *Front. Microbiol.* 2020. V. 11. Art. 598321. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.598321>
- Gafforov Y., Riebesehl J., Ordynets A. et al. *Hyphodontia* (Hymenochaetales, Basidiomycota) and similar taxa from Central Asia. *Botany*. 2017. V. 95 (11). P. 1041–1056. <https://doi.org/10.1139/cjb-2017-0115>
- Index Fungorum. CABI Bioscience, 2023. <http://www.indexfungorum.org>. Accessed 20.04.2023.
- Kibby G. *Leccinum* revisited. A new synoptic key to species. *Field Mycology*. 2006. V. 7 (4). P. 77–87. [https://doi.org/10.1016/S1468-1641\(10\)60573-7](https://doi.org/10.1016/S1468-1641(10)60573-7)
- Menolli Jr.N., Capelari M. Records and two new species of *Volvariella* (Pluteaceae, Agaricales) from Brazil. *Mycotaxon*. 2008. V. 106. P. 385–398.

- Mustafaev E. New records of ascomycetes (*Pezizales*) for the mycobiota of Uzbekistan. *Iranian J. Bot.* 2017. V. 23 (1). P. 72–75.
<https://doi.org/10.22092/ijb.2017.111924>
- Mustafaev I.M., Islomididinov Z.Sh. The first record of the genus *Geopora* (*Pezizales*) for Uzbekistan. *Ukrainian Bot. J.* 2022. V. 79 (1). P. 51–55.
<https://doi.org/10.15407/ukrbotj79.01.051>
- Opała-Owczarek M., Niedźwiedź T. Last 1100 yr of precipitation variability in western central Asia as revealed by tree-ring data from the Pamir-Alay. *Quaternary Res.* 2019. V. 91 (1). P. 81–95.
<https://doi.org/10.1017/qua.2018.21>
- Petrova A.A. Ad floram macromycetum basidialium reservati publici montano-silvatici Zaaminskij dicti in RSS Uzbekistania. I. Novosti sistematiki nizshikh rastenii. 1985. V. 22. P. 144–148 (in Russ.).
- Petrova A.A. Basidial macromycetes of the Zaamin Mountain Forest Reserve. *Cand. Sci. Thesis.* Kiev, 1989 (in Russ.).
- Rotkevich T.K. Materials for mycoflora of the former mountain-arch reserve Guralash (northern spurs of the Turkestan Range). In: *Proceedings of the 1st coordination meeting of mycologists of republics of Central Asia and Kazakhstan.* Frunze, 1960, pp. 142–143 (in Russ.).
- Ryvarden L. Neotropical polypores. Part 1. Introduction, *Ganodermataceae* and *Hymenochaetaceae*. *Synopsis Fungorum.* V. 19. Fungiflora, Oslo, 2004.
- Ryvarden L., Melo I. Poroid fungi of Europe. Second revised edition. *Synopsis Fungorum.* V. 37. Fungiflora, Oslo, 2017.
- Shomurodov Kh.F., Khabibullaev B.Sh. Investigation of changes in the species composition within the plant community containing relict shrub *Moluccella bucharica* for half a century. *Malayan Nature J.* 2022. V. 74 (1). P. 19–29.
- Szczepkowski A., Kujawa A., Halama M. *Volvariella bombycina* (Schaeff.) Singer in Poland: notes on its ecology, distribution and conservation status. *Polish J. Environmental Studies.* 2013. V. 22 (1). P. 41–51.
- Wang X.W., Jiang J.H., Liu S.L. et al. Species diversification of the coniferous pathogenic fungal genus *Coniferiporia* (*Hymenochaetales*, *Basidiomycota*) in association with its biogeography and host plants. *Phytopathology.* 2022. V. 112. P. 404–413.
<https://doi.org/10.1094/PHYTO-05-21-0181-R>
- Wijayawardene N.N., Hyde K.D., Dai D.Q. et al. Outline of Fungi and fungus-like taxa – 2021. *Mycosphere.* 2022. V. 13 (1). P. 53–453.
<https://doi.org/10.5943/mycosphere/13/1/2>
- Zaprometov N.G. Materials on mycoflora of Central Asia. V. 2. Tashkent, 1928 (in Russ.).
- Ахмедова Ф.Г. (Akhmedova) Микофлора Юго-Западных отрогов Тянь-Шаня: дисс. ... канд. биол. наук. Ташкент, 1966.
- Запрометов Н.Г. (Zaprometov) Материалы по микофлоре Средней Азии. Вып. 2. Ташкент, 1928. 71 с.
- Петрова А.А. (Petrova) К флоре базидиальных макромицетов Зааминского горнолесного заповедника УзССР. I // *Новости систематики низших растений.* 1985. Т. 22. С. 144–148.
- Петрова А.А. (Petrova) Базидиальные макромицеты Зааминского горно-лесного заповедника (УзССР): дис. ... канд. биол. наук. Киев, 1989. 260 с.
- Роткевич Т.К. (Rotkevich) Материалы к микофлоре бывшего горно-арчового заповедника Гуралаш (северные отроги Туркестанского хребта). Мат-лы I коорд. совещ. микологов республик Средней Азии и Казахстана. Фрунзе, 1960. С. 142–143.

Шесть новых для Памиро-Алая видов *Agaricomycetes* (в пределах Узбекистана)

З. Ш. Ислomididinov^{1, #}, И. М. Мустафаев^{1, ##}, С. В. Волобуев^{2, ###}, А. Умар^{3, ####},
 Б. С. Хабибуллаев^{1, #####}, Ю. В. Лим^{4, #####}

¹Институт ботаники Академии наук Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан

²Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

³Университет Пенджаба, Лахор, Пакистан

⁴Сеульский национальный университет, Сеул, Южная Корея

e-mail: zoirjon0991@bk.ru

e-mail: elyor-mustafaev@inbox.ru

e-mail: sergvobuev@binran.ru

e-mail: ash.dr88@gmail.com

e-mail: bekh.xabibullaev@mail.ru

e-mail: ywlim@snu.ac.kr

Приводятся новые сведения о видах базидиальных макромицетов (*Crucibulum laeve*, *Ganoderma resinaceum*, *Leccinum duriusculum*, *Lentinus brumalis*, *Neolentinus cyathiformis*, *Volvariella bombycina*), впервые отмеченных на территории Памиро-Алайских гор в Узбекистане. Все образцы были собраны на охраняемых территориях Зааминского национального природного парка, Нуратинского заповедника и Китабского государственного геологического заказника. Представлены подробные сведения об изученных образцах, хранящихся в Ташкентском микологическом гербарии Института ботаники Академии наук Узбекистана (TASM), включая географические координаты, описания локалитетов, субстратов и местообитаний, даты сборов, а также гербарные номера образцов. Кратко описана история изучения макромицетов на территории Памиро-Алая.

Ключевые слова: *Basidiomycota*, макромицеты, новые находки, Памиро-Алай, Северный Туркестанский хребет, хребет Нуратау

УДК 582.241

ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ МИКСОМИЦЕТОВ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА “НИЖНЯЯ КАМА” И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ В РАННИЙ ОСЕННИЙ ПЕРИОД

© 2023 г. Р. Э. Садыков^{1,2,*}, К. О. Потапов^{1,2,**}, Ю. А. Лукьянова^{2,***}, Ю. Р. Садыкова^{3,****}

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, 420008 Казань, Россия

²Национальный парк “Нижняя Кама”, 423603 Танаевский Лес, Россия

³Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации, 614030 Пермь, Россия

*e-mail: rsadykov975@gmail.com

**e-mail: potapov_ko@mail.ru

***e-mail: julia-luk@inbox.ru

****e-mail: deva-zod@mail.ru

Поступила в редакцию 13.05.2023 г.

После доработки 15.05.2023 г.

Принята к публикации 23.05.2023 г.

В работе представлены данные по исследованию распространения и видового разнообразия миксомицетов на территории Национального парка “Нижняя Кама” и его окрестностей в период ранней осени 2021 и 2022 гг. В уникальных пихтово-ольховых овражных экотопах и сообществах хвойно-широколиственных лесов Национального парка обнаружено 40 видов миксомицетов, три из которых – новые для Республики Татарстан, а вид *Dictydiaethalium plumbeum* отмечен впервые на данной территории с 1887 г. в сходном микроместообитании. Приведен аннотированный перечень обнаруженных видов.

Ключевые слова: особо охраняемые природные территории, региональное биоразнообразие, Республика Татарстан, *Атоевозоа*

DOI: 10.31857/S0026364823060077, **EDN:** RZXFMI

Миксомицеты – гетеротрофные амeboидные организмы, выделяемые в рамках супергруппы *Атоевозоа* (Leontyev et al., 2019). Особенности идентификации их в полевых условиях обусловлены многообразием спороношений. Влияя на микробиоту в почве и растительных остатках (Rojas, Stephenson, 2022), эти организмы выступают важным элементом экосистем.

На территории Национального парка “Нижняя Кама” (НП), включающего уникальные пихтово-ольховые овражные экотопы и сообщества хвойно-широколиственных лесов, сохраняющих многие бореальные виды флоры и создающих многообразие микроместообитаний, данные по исследованию видового разнообразия миксомицетов приводятся во второй раз, системно объединяясь с результатами 2021 г. (Potapov, Sadykov, 2022).

Исследования проведены в середине сентября 2021 и 2022 гг. в хвойных и смешанных лесах с пихтой и елью, в овражных влажных местообитаниях, в заповедной зоне Боровецкого леса (БЛ), Большого Бора (ББ) и хвойно-широколиственных формациях Елабужского лесничества (ЕЛ), к северу от Танаевского леса (рис. 1).

Сезонные условия в сентябре являются фенологически переходными. В этот период можно зарегистрировать виды, которые в связи с микроклиматическими условиями начали спороносить еще летом (их спорокарпы сохранили целостность до осени), а также виды с активным спороношением осенью.

Для изучения распространения и видового разнообразия миксомицетов производился осмотр микроместообитаний маршрутным методом, преимущественно валежной древесины. Обнаруженные спороношения помещали в картонные коробочки в соответствии с принятой методикой (Novozhilov, 1993). Макро- и микроструктуры собранных образцов изучались с помощью стереомикроскопа Micromed MC-2 и светового микроскопа Биомед-5 с использованием определителей (Novozhilov, 1993; Neubert et al., 1993, 1995, 2000; Poulain et al., 2011). Все образцы гербаризировались и вносились в базу данных с указанием координат, даты, места сбора, субстрата и биотопа. Гербарная коллекция находится на кафедре общей экологии Института экологии и природопользования Казанского (Приволжского) федерального университета (акроним RS).

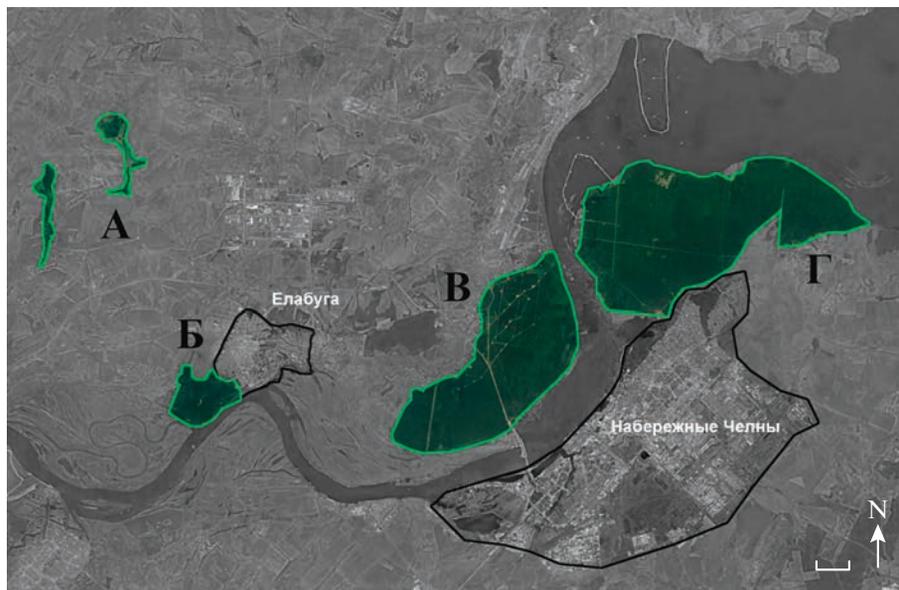


Рис. 1. Карта с указанием р-нов исследования: А – бореальный комплекс Елабужского лесничества; Б – Танаевский лес НП; В – Большой бор НП; Г – Боровецкий лес НП. Масштаб – 1 км.

После определения видовой принадлежности был составлен аннотированный список видов, в котором приняты следующие сокращения: ББ – Большой Бор¹; ДВ – древесный валеж; К – кора живых деревьев и кустарников; М – поверхность мхов; Р – живые растения; С – сухостой. Звездочкой отмечены виды, обнаруженные ранее на территории Республики Татарстан не более одного раза.

Далее следует аннотированный список видов.

Ceratiomyxales

Ceratiomyxa fruticulosa (O.F. Müll.) T. Macbr – RS100946, ББ-2, ДВ, *Pinus sylvestris*, ельник зеленомошный с примесью сосны; 55.756600° с.ш., 52.265250° в.д.; 13.09.2022.

Cribrariales

Cribraria cancellata (Batsch) Nann.-Bremek. – RS100948, RS100951, ББ-3, ЕЛ-1, ДВ, *Picea × fennica*, липняк с елью и пихтой, дубрава с елью; 55.770750° с.ш., 52.305840° в.д.; 55.846000° с.ш., 52.816720° в.д.; 10.09.2021, 15.09.2022.

C. vulgaris Schrad. – RS100952, ББ-1, ДВ, *Picea × fennica*, липняк с елью и пихтой, 55.770750° с.ш., 52.305840° в.д.; 10.09.2021.

**Dictydiaethalium plumbeum* (Schumach.) Rostaf. – RS100953, БЛ-1, ДВ, *Populus tremula*, осинник с елью; 55.843150° с.ш., 52.426210° в.д.; 14.09.2022. (рис. 2, Б).

¹ Запись ББ-10 означает, что в окрестностях пос. Большой Бор имеются сведения о 10 местонахождениях вида.

**Lindbladia tubulinia* Fr. – RS100954, ББ-1, С, *Picea × fennica*, сосняк с елью; 55.750110° с.ш., 52.284050° в.д.; 09.09.2021.

Liceales

Licea minima Fr. – RS100955, БЛ-1, ДВ, *Populus tremula*, осинник с елью; 55.843150° с.ш., 52.426210° в.д.; 14.09.2022.

Reticulariales

Lycogala epidendrum (L.) Fr. – RS100956, БЛ-4, ДВ, *Populus tremula*, осинник с елью; 55.843150° с.ш., 52.426210° в.д.; 14.09.2022.

Reticularia lycoperdon Bull. – RS100957, БЛ-1, ДВ, *Betula pendula*, пихтарник с березой на плакоре; 55.849060° с.ш., 52.445530° в.д.; 14.09.2022.

Tubifera ferruginosa (Batsch) J.F. Gmel. – RS100958, ББ-1, С, *Picea × fennica*, сосняк с елью; 55.750110° с.ш., 52.284050° в.д.; 09.09.2021.

**T. montana* Leontyev, Schnittler et S.L. Stephenson – RS100959, ЕЛ-2, ДВ, *Picea × fennica*, ельник с пихтой; 55.875030° с.ш., 51.876590° в.д. 15.09.2022. (рис. 2, В).

Trichiales

Arcyria cinerea (Bull.) Pers. – RS100961, ББ-1, ДВ, *Pinus sylvestris*, ельник зеленомошный с примесью сосны; 55.756600° с.ш., 52.265250° в.д.; 13.09.2022.

**A. helvetica* (Meyl.) H. Neubert, Nowotny et K. Baumann – RS100962, БЛ-5, ДВ, *Populus tremula*, осинник с елью; 55.843150° с.ш., 52.426210° в.д.; 14.09.2022.

A. stipata (Schwein.) Lister – RS100967, БЛ-1, ДВ, *Populus tremula*, осинник с елью; 55.843150° с.ш., 52.426210° в.д.; 14.09.2022.

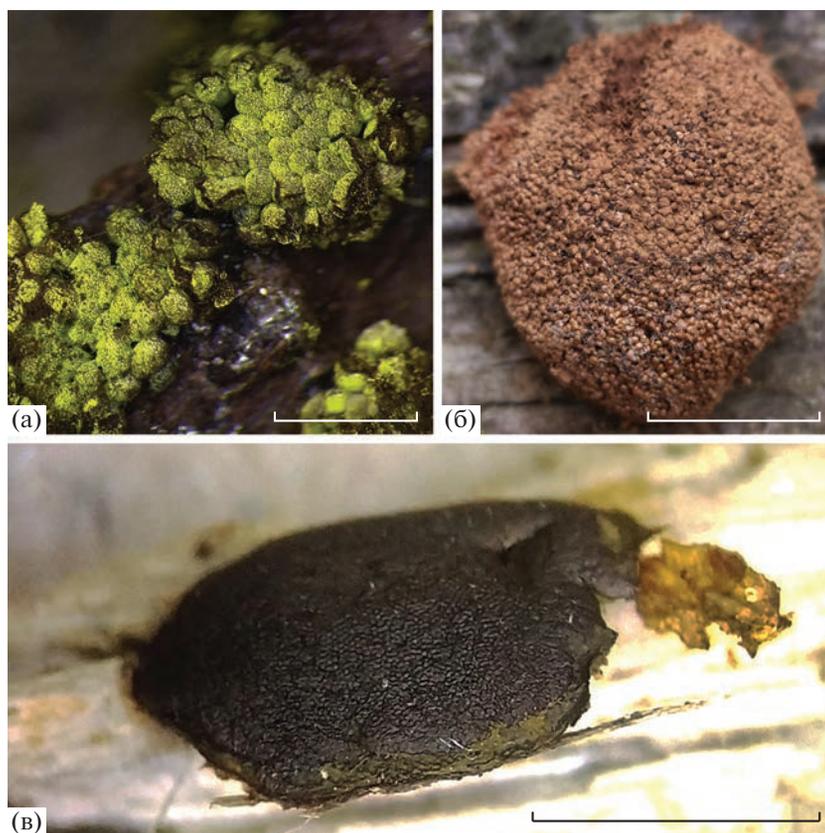


Рис. 2. Спорокарпы некоторых редких видов миксомицетов НП “Нижняя Кама” и его окрестностей: А – *Physarum virescens*; Б – *Tubifera montana*; В – *Dictydiaethalium plumbeum*. Масштаб – 1 см.

Hemitrichia calyculata (Speg.) M.L. Farr. – RS100968, БЛ-1, ДВ, *Populus tremula*, осинник с елью; 55.843150° с.ш., 52.426210° в.д.; 14.09.2022.

H. clavata (Pers.) Rostaf. – RS100969, БЛ-1, ДВ *Populus tremula*, ольшаник с пихтой и осинной в овраге; 55.849060° с.ш., 52.445530° в.д.; 14.09.2022.

Metatrichia vesparia (Batsch) Nann.-Bremek. ex G.W. Martin et Alexop. – RS100970, БЛ-5, ДВ, *Betula pendula*, *Populus tremula*, осинник с елью, березняк с вязом и елью; 55.843150° с.ш., 52.426210° в.д.; 14.09.2022.

Trichia decipiens (Pers.) T. Macbr. – RS100975, RS100979, БЛ-14, ДВ, *Populus tremula*, осинник с елью; 55.843150° с.ш., 52.426210° в.д.; 14.09.2022.

T. favoginea (Batsch) Pers. RS100989, RS100990, БЛ-1, ББ-1, ДВ, *Betula pendula* и *Alnus glutinosa*, ольшаник крапивный с березой, ольшаник с пихтой в овраге; 55.784080° с.ш., 52.294310° в.д.; 55.849060° с.ш., 52.445530° в.д.; 13.09.2022, 14.09.2022.

T. persimilis P. Karst. – RS100991, БЛ-1, ДВ, *Populus tremula*, ольшаник с пихтой и осинной в овраге; 55.849060° с.ш., 52.445530° в.д.; 14.09.2022.

T. scabra Rostaf. – RS100992, RS100993, ЕЛ-1, БЛ-1, ДВ, *Quercus robur*, *Populus tremula*, дубрава с елью и пихтой, осинник с елью, 55.846000° с.ш., 52.816720° в.д.; 55.843150° с.ш., 52.426210° в.д.; 14.09.2022, 15.09.2022.

T. varia (Pers. ex J.F. Gmel.) Pers. – RS100994, ББ-1, ДВ, *Tilia cordata*, липняк с елью и пихтой, 55.770750° с.ш., 52.305840° в.д.; 13.09.2022.

Physarales

Diachea leucopodia (Bull.) Rostaf. – RS100995, RS100998, RS101005, ББ-10, БЛ-7, Р, *Urtica dioica*, листовый опад *Betula pendula*, *Alnus glutinosa*, ольшаник крапивный с березой, ольшаник с пихтой в овраге; 55.784080° с.ш., 52.294310° в.д.; 55.849060° с.ш., 52.445530° в.д.; 13.09.2022, 14.09.2022.

**Didymium serpula* Fr. – RS101012, БЛ-1, ЛЛ, *Alnus glutinosa* и *Betula pendula*, ольшаник крапивный с березой, 55.770750° с.ш., 52.305840° в.д.; 13.09.2022.

**Fuligo cinerea* (Schwein.) Morgan – RS101013, ББ-1, М, ельник зеленомошный с примесью сосны; 55.756600° с.ш., 52.265250° в.д.; 13.09.2022.

**F. leviderma* H. Neubert, Nowotny et K. Baumann – RS101013, БЛ-8, ДВ, *Ulmus grabra*, березняк с вязом и елью; 55.843150° с.ш., 52.426210° в.д.; 14.09.2022.

**F. muscorum* Alb. et Schwein – RS101046, БЛ-1, ДВ, *Pinus sylvestris*, сосняк с елью; 55.843690° с.ш., 52.437950° в.д.; 05.09.2019.

F. septica F.H. Wigg. – RS101022, RS101012, RS101035, БЛ-14, ББ-7, ЕЛ-3, ДВ, *Betula pendula*, *Alnus glutinosa*, ДВ и С, *Pinus sylvestris*, ельник с пихтой, осинник с елью, дубрава с елью и пихтой, ольшаник с пихтой и осинной в овраге, липняк с елью и пихтой; 55.756600° с.ш., 52.265250° в.д.; 55.770750° с.ш., 52.305840° в.д.; 55.846000° с.ш., 52.816720° в.д.; 55.849060° с.ш., 52.445530° в.д.; 09.09.2021, 10.09.2021; 13.09.2022, 14.09.2022, 15.09.2022.

Physarum album (Bull.) Chevall. — RS101047, RS101052, ББ-5, ЕЛ-1, ДВ, *Picea* × *fennica*, *Pinus sylvestris*, липняк с елью и пихтой, дубрава с елью; 55.770750° с.ш., 52.305840° в.д.; 55.846000° с.ш., 52.816720° в.д.; 10.09.2021, 15.09.2022.

**Ph. bivalve* Pers. — RS101053, RS101057, ББ-4, БЛ-3, М, *Alnus glutinosa*, ЛЛ, ольшаник крапивный с березой, ольшаник с пихтой в овраге; 55.784080° с.ш., 52.294310; 55.849060° с.ш., 52.445530° в.д.; 14.09.2022.

**Ph. didermoides* (Pers.) Rostaf. — RS101063, ББ-1, ДВ, *Pinus sylvestris*, ельник с сосной зеленомошный; 55.756600° с.ш., 52.265250° в.д.; 10.09.2021.

**Ph. oblatum* Т. Macbr. — RS101060, ЕЛ-1, ДВ, *Picea* × *fennica*, дубрава с елью, 55.846000° с.ш., 52.816720° в.д., 15.09.2022.

**Ph. leucophaeum* Fr. et Palmquist — RS101064, ББ-1, ДВ, *P. sylvestris*, ельник с сосной зеленомошный; 55.756600° с.ш., 52.265250° в.д.; 10.09.2021.

**Ph. pezizoideum* (Jungh.) Pavill. et Lagarde — RS101065, ББ-1, ДВ, *Tilia cordata*, липняк с елью и пихтой, 55.770750° с.ш., 52.305840° в.д.; 09.09.2021.

**Ph. virescens* Ditmar — RS101061, ЕЛ-2, ДВ, *Picea* × *fennica*, дубрава с елью, 55.846000° с.ш., 52.816720° в.д., 15.09.2022 (рис. 2, А).

**Ph. viride* (Bull.) Pers. — RS101083, RS101084, ББ-1, ЕЛ-1, ДВ, *Picea* × *fennica*, *Pinus sylvestris*, липняк с елью и пихтой, дубрава с елью; 55.770750° с.ш., 52.305840; 55.846000° с.ш., 52.816720° в.д.; 10.09.2021, 15.09.2022.

Mucilago crustacea P. Micheli ex F.H. Wigg. — RS101066, БЛ-4, К молодых *Alnus glutinosa*, *Populus tremula*, ольшаник крапивный с березой, ольшаник с пихтой и осиною в овраге; 55.784080° с.ш., 52.294310° в.д.; 55.849060° с.ш., 52.445530° в.д.; 13-14.09.2022.

Stemonitidales

Stemonitis axifera (Bull.) Т. Macbr. — RS101070, ББ-6, ДВ, *Pinus sylvestris*, ельник с сосной зеленомошный; 55.756600° с.ш., 52.265250° в.д.; 13.09.2022.

S. fusca Roth — RS101076, ББ-4, ДВ, *Tilia cordata*, липняк с елью и пихтой, 55.770750° с.ш., 52.305840° в.д.; 13.09.2022.

**S. splendens* Rostaf. — RS101080, ББ-2, ДВ, *Tilia cordata*, липняк с елью и пихтой, 55.770750° с.ш., 52.305840° в.д.; 13.09.2022.

Echinosteliales

Echinostelium minutum de Bary — RS101083, БЛ-1, ДВ, *Alnus glutinosa*, ольшаник с пихтой в овраге, 55.849060° с.ш., 52.445530° в.д., 14.09.2022.

Таким образом, на территории Национального парка и Елабужского лесничества в ранний осенний период обнаружено 40 видов миксомицетов, принадлежащих к восьми порядкам. В ходе работы по изучению распространения миксомицетов на территории национального парка “Нижняя Кама” в период ранней осени был установлен их видовой состав, частота встречаемости и типичные местообитания. В исследуемых экотопах Республики

Татарстан были выявлены миксомицеты, типичные для влажных лесных или заболоченных биотопов средней полосы России. Впервые в Национальном парке “Нижняя Кама” обнаружены: *Arctyria helvetica*, *Physarum virescens*, *Didymium serpula*. На территории РТ, на валежной древесине осины, впервые с конца XIX в. (Zhilyakov, 1887), был обнаружен *Dictydiaethalium plumbeum*.

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности, проект № FZSM-2022-0003.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Leontyev D.L., Schnittler M., Stephenson S.L. et al. Towards a phylogenetic classification of the *Myxomycetes* // Phytotaxa 2019. V. 399 (3). P. 209–238. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.399.3.5>
- Neubert H., Nowotny W., Baumann K. Die *Myxomyceten* und des angrenzenden Alpenraumes unter besonderen Berücksichtigung Österreichs, Bd 1: *Ceratiomyxales, Echinosteliales, Liceales, Trichiales*. Bauman, Gomaringen, 1993.
- Neubert H., Nowotny W., Baumann K. et al. Die *Myxomyceten* und des angrenzenden Alpenraumes unter besonderen Berücksichtigung Österreichs, Bd 2: *Physarales*. Bauman, Gomaringen, 1995.
- Neubert H., Nowotny W., Baumann K. et al. Die *Myxomyceten* und des angrenzenden Alpenraumes unter besonderen Berücksichtigung Österreichs, Bd 3: *Stemonitales*. Bauman, Gomaringen, 2000.
- Novozhilov Yu. K. Key-book to the fungi of Russia. Class *Myxomycetes*. V. 1. Nauka, SPb., 1993 (in Russ.).
- Potapov K.O., Sadykov R.E. Inventory of the biota of myxomycetes and fungi of the “Nizhnyaya Kama” National Park. In: Scientific research in reserves and National parks of the Russian Federation. Simferopol, 2022, pp. 397–398 (in Russ.).
- Poulain M., Meyer M., Bozonnet J. Les *Myxomycetes*. Fed. Mycol. Bot. Dauphine, Savoie, 2011.
- Rojas C., Stephenson S.L. *Myxomycetes: biology, systematics, biogeography and ecology*. 2nd ed. Academic Press, London, 2022.
- Zhilyakov N. Note of myxomycetes in Kazan Province. *Botanicheskie zapiski*. 1887. V. 2 (1). P. 25–34 (in Russ.).
- Новожилов Ю.К. (Novozhilov) Определитель грибов России: Отдел Слизевики; класс Миксомицеты; вып. 1. СПб.: Наука, 1993. 288 с.
- Потапов К.О., Садыков Р.Э. (Potapov, Sadykov) Инвентаризация биоты миксомицетов и грибов Национального парка “Нижняя Кама” // Научные исследования в заповедниках и национальных парках Российской Федерации. Симферополь: Бизнес-Информ, 2022. С. 397–398.
- Жиляков Н. (Zhilyakov) Заметка о нахождении миксомицетов в Казанской губернии // Ботанические записки. 1887. Т. 2. № 1. С. 25–34.

Species Diversity of Myxomycetes of the “Nizhnyaya Kama” National Park and Adjacent Territories in the Early Autumn Period

R. Sadykov^{a,b,#}, K. Potapov^{a,b,##}, Yu. Lukyanova^{b,###}, and Yu. Sadykova^{c,####}

^a*Kazan Federal University, Kazan, Russia*

^b*“Nizhnyaya Kama” National Park, Tanaevskiy Les, Russia*

^c*Perm Military Institute of National Guard of the Russian Federation, Perm, Russia*

[#]*e-mail: rsadykov975@gmail.com*

^{##}*e-mail: potapov_ko@mail.ru*

^{###}*e-mail: julia-luk@inbox.ru*

^{####}*e-mail: deva-zod@mail.ru*

The paper presents data on the distribution and species diversity of myxomycetes in the territory of the “Nizhnyaya Kama” National Park and its surroundings during early autumn of 2021 and 2022. A total of 40 species of myxomycetes were found in the unique spruce-alder ravine ecotopes and coniferous-broadleaved forest communities of the National Park, with 3 of them being new records for the Republic of Tatarstan. Additionally, the species *Dictydiaethalium plumbeum* was recorded for the first time in this area since 1887, in a similar microhabitat. An annotated checklist and authors’ photos of some species are provided.

Keywords: Amoebozoa, regional biodiversity, Republic of Tatarstan, specially protected natural area

УДК 582.282 : 630*272

РЕЗУЛЬТАТЫ МИКОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ПОБЕГОВОЙ СИСТЕМЫ “ИРИНОВСКОГО ДУБА” (ЛЕНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ, РОССИЯ)

© 2023 г. А. Б. Шишлянникова^{1,*}, И. В. Змитрович^{2,**}, Г. И. Зарудная^{1,***}, В. В. Перельгин^{3,****}, М. В. Жариков^{3,*****}

¹Санкт-Петербургский лесотехнический университет им. С.М. Кирова, 194021 Санкт-Петербург, Россия

²Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, 197022 Санкт-Петербург, Россия

³Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет Министерства здравоохранения РФ, 197022 Санкт-Петербург, Россия

*e-mail: arborshi@mail.ru

**e-mail: iv_zmitrovich@mail.ru

***e-mail: olsmol@yandex.ru

****e-mail: vladimir.pereligin@pharminnotech.com

*****e-mail: zharikov.mihail@pharminnotech.com

Поступила в редакцию 03.05.2023 г.

После доработки 15.06.2023 г.

Принята к публикации 30.07.2023 г.

Памятник живой природы “184-летний дуб в деревне Ириновка” (Ленинградская обл., Россия), более известный в краеведческой литературе как “Ириновский дуб”, был официально открыт в 2013 г. Он представлен отдельно стоящим деревом дуба черешчатого (*Quercus robur*), высаженным в 1829 г. и сохранившимся в 194-летнем возрасте в удовлетворительном состоянии. В статье представлены данные обследования побеговой системы “Ириновского дуба”, проведенные 04.08.2022 г. Всего было выявлено 12 видов грибов (*Cladosporium herbarum*, *Colpoma quercinum*, *Coryneum depressum*, *Diatrypella quercina*, *Erysiphe alphitoides*, *Hyphoderma setigerum*, *Laetiporus sulphureus*, *Marchandiomyces corallinus*, *Peniophora quercina*, *Trichoderma viride*, *Sphaerulina quercicola*, *Vuilleminia comedens*) различного трофического статуса. Лихенофильный гриб *Marchandiomyces corallinus* отмечается как новый для Ленинградской обл. Показано, что с побеговой системой обследованного дерева связан комплекс адаптированных к развитию в кроне *Quercus robur* (и коадаптированных) видов, в котором выявляются некротрофы *Sphaerulina quercicola* и *Coryneum depressum*, патогенный сапротроф *Vuilleminia comedens*, а также сапротрофы (*Diatrypella quercina*, *Peniophora quercina*), обеспечивающие непрерывный процесс самоизреживания кроны.

Ключевые слова: дуб, крона, листовая пятнистость, патогены, сапротрофы, *Ascomycota*, *Basidiomycota*, *Quercus robur*

DOI: 10.31857/S0026364823060120, **EDN:** ISDOBA

Памятник живой природы “184-летний дуб в деревне Ириновка” (Ленинградская обл., Россия), более известный в краеведческой литературе как “Ириновский дуб”, был официально открыт в 2013 г. Он представлен отдельно стоящим деревом дуба черешчатого (*Quercus robur* L.), высаженным в 1829 г. и сохранившимся в 194-летнем возрасте в удовлетворительном состоянии. Дерево объявлено памятником живой природы всероссийского значения, находится под охраной Всероссийской программы “Деревья – памятники живой природы” Совета по сохранению природного наследия нации в Совете Федерации РФ (Firsov et al., 2021a).

Произрастает “Ириновский дуб” в юго-восточной части Карельского перешейка (дер. Ириновка, Всеволожский р-н) и находится несколько

севернее естественного ареала этой породы – т.е. зоны, где поток поколений *Q. robur* в лесных экосистемах поддерживается без вмешательства человека. Согласно геоботаническому районированию Нечерноземья 1989 г., территория эта лежит в среднетаежной подзоне таежной зоны и входит в состав Олонецко-южноприладожского геоботанического округа (Aleksandrova, Yurkovskaya, 1989). Западная часть округа, где находится “Ириновский дуб”, несет следы многовекового антропогенного преобразования растительности, а восстанавливающиеся елово-сосновые леса принадлежат зеленомошной, либо сфагновой серии и под их пологом не создается условий для развития широколиственных пород.

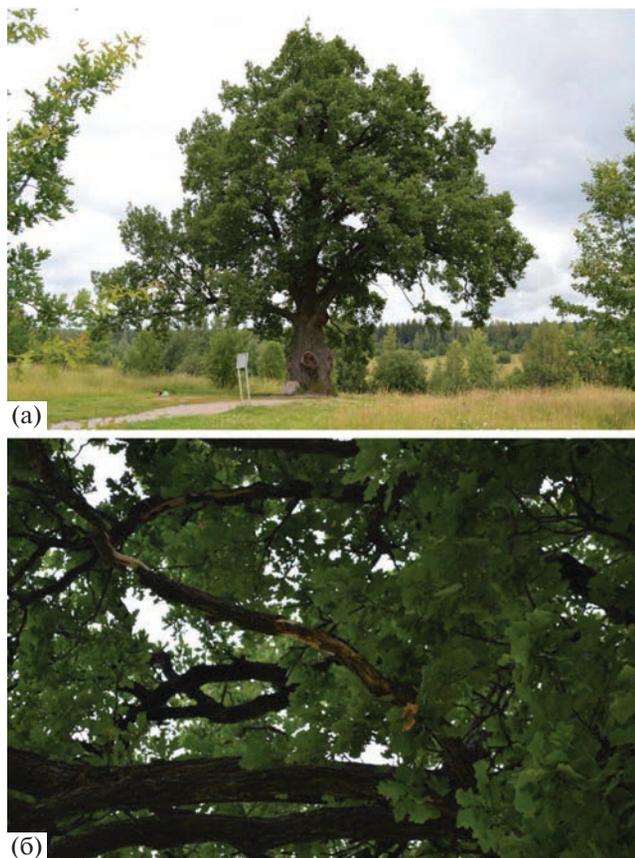


Рис. 1. Памятник живой природы “184-летний дуб в деревне Ириновка” (“Ириновский дуб”): а – общий вид дерева и подкоронового пространства; б – крона (вид снизу): часть ветвей II порядка несут признаки усыхания, вызванного *Vuilleminia comedens*.

История посадки “Ириновского дуба” восстановлена достаточно детально (Zmitrovich et al., 2020). Это единственное дерево, выжившее в дубовой посадке имения С.Я. Поскочина после сведения здесь леса и сельскохозяйственного освоения земель. Этому способствовало местоположение дерева – хорошо дренируемая верхняя треть склона суглинистой абразионной террасы. В 1851 г., после реконструкции Л.Ф. Корфом усадьбы в Ириновке, молодой дуб стал композиционным центром нового парка и с тех пор был избавлен от конкуренции с местными древесно-кустарниковыми породами. Он сформировал характерный для открытой местности в термодифицитных районах экотип – крепкий свилеватый ствол, образующий приземистый “пьедестал”, с широкой несущей кроной и имеющими толстую кутикулу относительно небольшими листьями. Высота дуба сегодня составляет 15 м, диам. ствола – 203 см (638 см в окружности на высоте 1.3 м от поверхности почвы). Высота дерева невелика, но его по праву можно отнести к самым толстым деревьям в окрестностях Санкт-Петербурга (Firsov et al., 2021a, 2021b).

В 2014 г. в Комитет по природным ресурсам Ленинградской обл. поступили письма о наличии на дереве плодовых тел трутового гриба. В ходе экспертизы с привлечением специалиста Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН (БИН РАН) В.М. Котковой был идентифицирован патоген – серно-желтый трутовик (*Laetiporus sulphureus*) (заключение от 28.10.2014). Летом 2019 г. в Комитет по природным ресурсам Ленинградской обл. поступили повторные запросы жителей, в которых констатировалось увеличение дупла на охраняемом дереве. В письме зам. председателя Комитета по природным ресурсам Ленинградской обл. К.В. Острикова на имя руководителя БИН РАН Д.В. Гельтмана от 29.01.2020 г. содержится запрос на повторное обследование данного дерева и подготовку рекомендаций по его сохранению. В ходе обработки данного запроса была сформирована группа специалистов, включающая миколога (И.В. Змитрович), дендрологов (Г.А. Фирсов, А.Г. Хмарик) и специалиста по охране деревьев (В.Ю. Ковальшук), а 06.02.2020 был осуществлен выезд этой группы специалистов к памятнику живой природы. По результатам этого обследования специалистами было дано две группы рекомендаций – 1) по контролю *L. sulphureus* (высверливание и удаление гнилой древесины из пяти главных дупел с изъятием визуально здоровой древесины с запасом в 1.5–2 см, дезинфекция полости с последующей периодической чисткой, закрытие дупел плотно подогнанными дубовыми втулками) и 2) по поддержанию фитоиммунитета (прореживание и стяжка кроны, гидромелиоративные работы, подсыпка и выравнивание грунта на северной стороне ствола, ограждение подкоронового пространства от вытаптывания и выкос высокотравья) (заключение от 11.02.2020).

Фитопатологическое состояние дерева было признано удовлетворительным. Однако детальное микологическое обследование кроны дерева в описанный период было невозможно по техническим причинам. Авторы настоящего сообщения провели подготовку необходимого оборудования и осуществили микологическое обследование побеговой системы “Ириновского дуба”, включая терминальные побеги и листья (лист – боковой орган побега). Далее представлены результаты проведенного исследования.

Объект исследования – дуб черешчатый (*Quercus robur*) в виде отдельно стоящего дерева – находится на 29-м км Дороги Жизни (60°05′01.3″ с.ш. и 30°54′23.4″ в.д.) в дер. Ириновка Рахьинского городского поселения Всеволожского р-на Ленинградской обл (рис. 1). Дерево расположено в верхней трети склона невысокого отрога камовой возвышенности, абрадируемой ледниковыми водами, и имеет антропогенное происхождение (посадки первой трети XIX в. немецкого усадебно-

го типа). Зональный тип плакорной растительности — ельник с сосной черничный, но растительность несет следы многовекового антропогенного преобразования (сведение елового леса, распашка земель, мелиоративные мероприятия в нижней части склона, парковое преобразование ландшафта, деградация парка, периодическое закустаривание и сведение кустарников, покосы).

Обследование проведено 04.08.2022 г. Исследовали поверхность штамба, центрального проводника, скелетных ветвей, побегов продолжения в системе западной, восточной и северной скелетных ветвей, листьев (неопавших и свежеепавших), а также эпифитных лишайников.

При исследовании кроны отбирали побеги, несущие признаки усыхания и ослабления с использованием высотореза (сучкореза) для деревьев Fiskars UP84 1001557 (рабочий диаметр — 32 мм, материал лезвия — сталь, тип лезвия — плоскостное, тип привода — пружинный, регулируемый угол режущей головки — до 230°, рабочий диапазон — до 4,5 м) на удлинительной штанге. На полевых работах использовали фотокамеру Nikon D3200 (сменные объективы AF-S Nikkor 55–300 мм и 18–15 мм).

За учетную единицу принимали отдельный пораженный грибом побег или лист.

Материал гербаризировали в Ботаническом институте им. В.Л. Комарова РАН (БИН РАН) (дубликаты хранятся в Санкт-Петербургском лесотехническом университете им. С.М. Кирова), а определение грибов осуществляли с использованием ряда определительных пособий (Dennis, 1978; Jülich, Stalpers, 1980; Sutton, 1980; Ellis, Ellis, 1997; Braun, Cooke, 2012).

Идентификацию грибов проводили с использованием светового микроскопа AxioImager.A1 на базе лаборатории систематики и географии грибов БИН РАН. Микропрепараты готовили с использованием 5%-го р-ра КОН. Измерения микроструктур производили в дистиллированной воде.

Актуальные видовые названия грибов приведены в соответствии с базой данных Index Fungorum (2023).

В результате проведенного исследования было выявлено 12 видов грибов (семь видов из отдела *Ascomycota*, пять видов — *Basidiomycota*), ассоциированных с побеговой системой “Ириновского дуба”, данные о которых сведены в табл. 1.

Выявленные виды в большинстве своем — сапротрофы, развивающиеся уже на отмерших одревесневших побегах (*Diatrypella quercina*, *Hyphoderma setigerum*, *Peniophora quercina*) и листьях (*Cladosporium herbarum*, *Trichoderma viride*) — последние также обычны на травах и подстилке подкоронового пространства. Отдельно следует отметить группу патогенных сапротрофов, утилизирующих ксилему усыхающих побегов — как



Рис. 2. *Marchandiomyces corallinus* (LE 287725) на слоевище эпифитного лишайника *Parmelia sulcata*. Масштаб — 1 мм.

центральных (*Laetiporus sulphureus*, ядровая бурая гниль), так и терминальных (*Vuilleminia comedens*, периферическая белая гниль). Деятельность некротрофов (*Colpoma quercinum*, *Coryneum depressum*, *Sphaerulina quercicola*) ведет к отмиранию терминальных побегов и заселением их сапротрофными видами. Из биотрофов, ассоциированных с компенсированным поражением живых тканей хозяина, следует отметить *Erysiphe alphitoides* (возбудитель мучнистой росы дуба) и лихенофильный гриб *Marchandiomyces corallinus*, обнаруженный на слоевище лишайника *Parmelia sulcata* Taylor, обычно на ветвях III порядка и побегах продолжения исследованного растения (рис. 2).

Распределение видов в рамках побеговой системы закономерно. Штамб, центральный проводник и скелетные ветви I порядка несут признаки поражения *Laetiporus sulphureus* (на них же отмечены каповые наросты неопределенной этиологии). На скелетных ветвях II порядка отмечаются немногочисленные, но обширные некрозы, вызванные *Vuilleminia comedens*. Ветви III порядка и побеги продолжения заселяются такими видами как *Colpoma quercinum*, *Coryneum depressum*, *Diatrypella quercina*, *Hyphoderma setigerum*, *Peniophora quercina*. Обычен на них и наиболее распространенный в кроне вид *Vuilleminia comedens*. На листьях отмечены *Cladosporium herbarum*, *Sphaerulina quercicola*, *Erysiphe alphitoides*, *Trichoderma viride*.

Наибольшую встречаемость (55 учетных единиц) проявляет *Vuilleminia comedens*, за ней следуют *Erysiphe alphitoides* (24), *Coryneum depressum* (17) и *Sphaerulina quercicola* (16 учетных единиц). Обращает на себя внимание относительно локальное распространение по кроне клитрисового некроза (возбудитель — *Colpoma quercinum*), характерного для городских насаждений Санкт-Петербурга (Zmitrovich, Vasilyev, 2006).

Необходимо также отметить выявленные в ходе работы случаи ассоциации различных видов грибов. Чаще всего (10 учетных единиц) была

Таблица 1. Характеристика видового состава грибов, выявленных на побегах и листьях “Ириновского дуба”

Вид гриба	Трофический статус	Субстрат	Кол-во учетных единиц	Гербарный номер
<i>Ascomycota</i>				
<i>Dothideomycetes</i>				
<i>Capnodiales</i>				
<i>Cladosporium herbarum</i> (Pers.) Link	С	Л	5	LE 287724
<i>Mycosphaerellales</i>				
<i>Sphaerulina quercicola</i> (Desm.) Quaedvl., Verkley et Crous	Н	Л	16	LE 287730, LE 287733
<i>Leotiomyces</i>				
<i>Helotiales</i>				
<i>Erysiphe alphitoides</i> (Griffon et Maubl.) U. Braun et S. Takam.	Б	Л	24	LE 287731, LE 287728
<i>Rhytismatales</i>				
<i>Colpoma quercinum</i> (Pers.) Wallr.	Н	VIII, ПП	4	LE 287729
<i>Sordariomycetes</i>				
<i>Diaporthales</i>				
<i>Coryneum depressum</i> J.C. Schmidt	Н	ПП	17	LE 287727, LE 287735
<i>Xylariales</i>				
<i>Diatrypella quercina</i> (Pers.) Cooke	С	VIII, ПП	15	LE 287732, LE 287734
<i>Hypocreales</i>				
<i>Trichoderma viride</i> Pers.	С	Л	2	LE 287729
<i>Basidiomycota</i>				
<i>Agaricomycetes</i>				
<i>Corticiales</i>				
* <i>Marchandiomyces corallinus</i> (Roberge) Diederich et D. Hawksw.	Б	ЭЛ	3	LE 287725
<i>Vuilleminia comedens</i> (Nees) Maire	(П)	СИ, VIII, ПП	55	LE 287736
<i>Polyporales</i>				
<i>Hypoderma setigerum</i> (Fr.) Donk	С	ПП	2	LE 287726
<i>Laetiporus sulphureus</i> (Bull.) Murrill	(П)	Ш, ЦП, СИ	3	—
<i>Russulales</i>				
<i>Peniophora quercina</i> (Pers.) Cooke	С	VIII, ПП	3	LE 287737
Кап невыясненной этиологии	—	ЦП, СИ	5	—

Примечание. Трофический статус (по: Zmitrovich et al., 2015): Б – биотроф; Н – некротроф; (П) – сапротроф, утилизирующий биокосные структуры усыхающих побегов; С – сапротроф, развивающийся на отмерших побегах. Субстрат: VIII – ветви III порядка; Л – листья; ПП – побеги продолжения; СИ – скелетные ветви I порядка; СИ – скелетные ветви II порядка; ЦП – центральный проводник; Ш – штамб; ЭЛ – эпифитные лишайники. Звездочкой отмечен новый для Ленинградской обл. вид.

встречена ассоциация *Vuilleminia comedens* с *Diatrypella quercina*. Нередки ветви, покрытые мицелиальной пленкой *Vuilleminia*, обрастающей энтостромы *Diatrypella*. Дважды отмечена ассоциация *Vuilleminia comedens* и *Colpoma quercinum*, единоразы – ассоциация *Cladosporium herbarum* и *Sphaerulina quercicola*.

Развитие видовых группировок во времени можно реконструировать исходя из состояния побегов. Сезонные вспышки развития мучнистой росы дуба (возбудитель – *Erysiphe alphitoides*) приводят к ослаблению текущих побегов, которые становятся более чувствительными к атаке некротрофов (*Colpoma quercinum*, *Coryneum depressum*) и

патогенных сапротрофов (*Vuilleminia comedens*). Отмершие в связи с деятельностью упомянутых видов побеги заселяются сапротрофами (*Diatrypella quercina*, *Peniophora quercina*), вызывающими коррозийную и сравнительно активную гниль побегов и отпад ветвей. Развитие этих грибных группировок способствует процессам самоизреживания кроны *Quercus robur*.

Большинство выявленных видов грибов известно в регионе. Это относится и к убиквистам *Cladospodium herbarum* и *Trichoderma viride*, и к менее известным, но, тем не менее, отмеченным в Ленинградской обл. видам — *Colpoma quercinum* (Zmitrovich, Vasilyev, 2006), *Coryneum depressum* [= *Pseudovalsa umbonata* (Tul. et C. Tul.) Sacc.] (Popov et al., 2007), *Diatrypella quercina* (Popov et al., 2007; Shishlyannikova et al., 2023), *Erysiphe alphitoides* (Zmitrovich, Vasilyev, 2006), *Hyphoderma setigerum* (Popov et al., 2007), *Laetiporus sulphureus* (Popov et al., 2007), *Peniophora quercina* (Popov et al., 2007), *Sphaerulina quercicola* [≡ *Septoria quercicola* (Desm.) Sacc.] (Teterevnikova-Babayana, 1980), *Vuilleminia comedens* (Zmitrovich, Vasilyev, 2006). Базидиомицет *Marchandiomycetes corallinus* ранее на территории Ленинградской обл. не отмечался (Bolshakov et al., 2022), хотя в наших неопубликованных сборах из различных р-нов Ленинградской обл. имеется несколько образцов этого — по-видимому, достаточно широко распространенного — вида.

Обобщая полученные данные, необходимо отметить следующее. Состояние побеговой системы “Ириновского дуба” следует признать удовлетворительным с фитопатологической точки зрения и единственным ксилотрофным патогеном, связанным с хронической сердцевинной гнилью, является здесь *Laetiporus sulphureus*, распространенность которого ограничена штамбом и нижней третью центрального проводника. С ветвями II и III порядков связан комплекс адаптированных к развитию в кроне *Quercus robur* и коадаптированных видов, в котором выявляются доминанты — некротрофы *Sphaerulina quercicola* и *Coryneum depressum*, патогенный сапротроф *Vuilleminia comedens*, а также сапротрофы (*Diatrypella quercina*, *Peniophora quercina*), обеспечивающие непрерывный процесс самоизреживания кроны. Находка нового для региона вида лихенофильного гриба *Marchandiomycetes corallinus* ставит на повестку дня инвентаризацию лихенобиоты, ассоциированной с этим интересным объектом.

Работа выполнена с использованием техники центра коллективного пользования БИН РАН “Клеточные и молекулярные технологии в изучении растений и грибов”. Работа И.В. Змитровича проводилась в рамках государственного задания № 122011900033-4 (БИН РАН). Работа В.В. Перелыгина и М.В. Жарикова проводилась в рамках темы “Формирование экологической культуры и

экологической грамотности работников фармацевтической отрасли” (СПбХФУ МЗ РФ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Aleksandrova V.D., Yurkovskaya T.K. Geobotanical zoning of the non-chernozem area in the European part of the R.S.F.S.R. Nauka, St. Petersburg, 1989 (in Russ.).
- Bolshakov S.Yu., Volobuev S.V., Ezhov O.N. et al. Aphylloporoid fungi of the European part of Russia: a checklist. ETU Publishing house, SPb., 2022 (in Russ.).
- Braun U., Cook R.T.A. Taxonomic manual of the *Erysiphales* (powdery mildews). CBS Biodiversity series. V. 11. APS Press, Utrecht, 2012.
- Dennis R.W.G. British *Ascomycetes*. J. Cramer, Vaduz, 1978.
- Ellis M.B., Ellis J.P. Microfungi on land plants: an identification handbook. New enlarged edition. Richmond P.C., Slough, 1997.
- Firsov G.A., Yarmishko V.T., Zmitrovich I.V. et al. Frost cracks and pathogenic xylophilic fungi in the arboretum of Peter the Great Botanical Garden. Ladoga, St. Petersburg, 2021a (in Russ.).
- Firsov G.A., Zmitrovich I.V., Khmarik A.G. et al. Some problems of preserving memorial trees in St. Petersburg using the example of the “Irinovsky oak” (*Quercus robur* L.). Biodiversity. Introduction of plants. SPb., 2021b, pp. 182–186 (in Russ.).
- Index Fungorum. CABI Bioscience, 2023. <http://www.indexfungorum.org/>. Accessed 15.04.2023.
- Jülich W., Stalpers J.A. The resupinate non-poroid *Aphylloporales* of the temperate Northern hemisphere. North-Holland Publ. Co., Amsterdam etc., 1980.
- Popov E.S., Morozova O.V., Kotkova V.M. et al. Preliminary list of fungi and myxomycetes of Leningrad Region. Treeart LLC, SPb., 2007.
- Shishlyannikova A.B., Zmitrovich I.V., Zarudnaya G.I. Micromycetes Rossicae: chorological and taxonomical notes. 6. *Diatrypella quercina* (Xylariales, Ascomycota) in Russia. Mikologiya i fitopatologiya. 2023. V. 57. № 5. P. 378–382. <https://doi.org/10.31857/S0026364823050082>
- Sutton B.C. The *Coelomycetes*. Fungi imperfecti with pycnidia, acervuli and stromata. CMI, Kew, 1980.
- Teterevnikova-Babayana D.N. Review of fungi of the genus *Septoria* Sacc., causing leaf spot on oak and beech. Novosti sistematiki nizshikh rasteniy. 1980. V. 17. P. 81–85 (in Russ.).
- Zmitrovich I.V., Vasilyev N.P. Fungal pathogens of tree diseases in St. Petersburg environment. I. Oak mycoses. Novosti sistematiki nizshikh rasteniy. 2006. V. 40. P. 121–131 (in Russ.).
- Zmitrovich I.V., Wasser S.P., Ĵura D. Wood-inhabiting fungi. In: Fungi from different substrates. CRC Press, Taylor and Francis group, N.Y., 2015, pp. 17–74.
- Zmitrovich I., Firsov G., Khmarik A. et al. What is that oak keeping quiet about... Nauka i zhizn. 2020. № 10. P. 66–74 (in Russ.).
- Александрова В.Д., Юрковская Т.К. (Aleksandrova, Yurkovskaya) Геоботаническое районирование Нечерноземья европейской части РСФСР. Л.: Наука, 1989. 64 с.

Большаков С.Ю., Волобуев С.В., Ежов О.Н. и др. (Bolshakov et al.) Афилофороидные грибы европейской части России: аннотированный список видов. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2022. 578 с.

Змитрович И.В., Васильев Н.П. (Zmitrovich, Vasilyev) Грибы – возбудители заболеваний древесных пород в условиях Санкт-Петербурга. 1. Микозы дуба // Новости систематики низших растений. 2006. Т. 40. С. 121–131.

Змитрович И., Фирсов Г., Хмарик А. и др. (Zmitrovich et al.) О чем молчит тот дуб красноречиво... // Наука и жизнь. 2020. № 10. С. 66–74.

Тетереvникова-Бабаян Д.Н. (Teterevnikova-Babayan) Обзор грибов рода *Septoria* Sacc., вызывающих пятнистость листьев дуба и бука // Новости систематики низших растений. 1980. Т. 17. С. 81–85.

Фирсов Г.А., Змитрович И.В., Хмарик А.Г. и др. (Firsov et al.) Некоторые проблемы сохранения памятных деревьев в Санкт-Петербурге на примере “Ириновского дуба” (*Quercus robur* L.) // Биологическое разнообразие. Интродукция растений. Сб. статей. СПб.: Первый ИПХ, 2021. С. 182–186.

Фирсов Г.А., Ярмишко В.Т., Змитрович И.В. и др. (Firsov et al.) Морозобоины и патогенные ксилотрофные грибы в парке-дендрарии Ботанического сада Петра Великого. СПб.: Ладога, 2021. 304 с.

Results of the Mycological Investigation of the Shoot System of “Irinovsky Oak” Tree (Leningrad Region, Russia)

A. B. Shishlyannikova^{a,#}, I. V. Zmitrovich^{b,##}, G. I. Zarudnaya^{a,###}, V. V. Perelygin^{c,####}, and M. V. Zharikov^{c,#####}

^aS.M. Kirov St. Petersburg Forestry University, St. Petersburg, Russia

^bKomarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

^cSt. Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia

[#]e-mail: arborshi@mail.ru

^{##}e-mail: iv_zmitrovich@mail.ru

^{###}e-mail: olsmol@yandex.ru

^{####}e-mail: vladimir.pereligin@pharminnotech.com

^{#####}e-mail: zharikov.mihail@pharminnotech.com

The wild nature monument “184-year-old oak tree in the village of Irinovka” (Leningrad region, Russia), better known in local history literature as “Irinovsky Oak”, was officially opened in 2013. It is represented by a separate pedunculate oak tree (*Quercus robur*), planted in 1829 and preserved in satisfactory condition at 194 years of age. This paper presents data from a survey of the shoot system of the tree investigated, carried out on August 4, 2022. A total of 12 fungal species were registered (*Cladosporium herbarum*, *Colpoma quercinum*, *Coryneum depressum*, *Diatrypella quercina*, *Erysiphe alphitoides*, *Hyphoderma setigerum*, *Laetiporus sulphureus*, *Marchandiomyces corallinus*, *Peniophora quercina*, *Trichoderma viride*, *Sphaerulina quercicola*, *Vuilleminia comedens*). The lichenicolous species *Marchandiomyces corallinus* was reported as new find to the Leningrad region. It was shown that the shoot system of the tree investigated is associated with a complex of *Quercus robur*-adapted and co-adapted species, among which such necrotrophs as *Sphaerulina quercicola* and *Coryneum depressum*, and pathogenic saprotroph as *Vuilleminia comedens*, as well as saprotrophs (*Diatrypella quercina*, *Peniophora quercina*) are dominated. This species complex ensures a continuous process of the crown self-thinning.

Keywords: Ascomycota, Basidiomycota, leaf spot, oak, pathogens, *Quercus robur*, saprotrophs, tree crown

УДК 582.28 (092)

ПАМЯТИ ЗИНАИДЫ АФАНАСЬЕВНЫ ДЕМИДОВОЙ (1894–1985)

© 2023 г. А. Г. Ширяев^{1,*}, О. С. Ширяева^{1,**}, И. В. Змитрович^{2,***}, Н. Г. Ерохин^{1,****}

¹Институт экологии растений и животных УрО РАН, 620144 Екатеринбург, Россия

²Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, 197022 Санкт-Петербург, Россия

*e-mail: anton.g.shiryayev@gmail.com

**e-mail: olga.s.shiryayeva@gmail.com

***e-mail: iv_zmitrovich@mail.ru

****e-mail: eng@ipae.uran.ru

Поступила в редакцию 15.03.2023 г.

После доработки 15.04.2023 г.

Принята к публикации 23.05.2023 г.

DOI: 10.31857/S0026364823060119, EDN: SCFICX

В 2024 г. исполняется 130 лет со дня рождения Зинаиды Афанасьевны Демидовой – первого миколога и фитопатолога в г. Екатеринбурге (Свердловске).

Несмотря на то, что в настоящее время микобиота многих групп грибов Свердловской обл. довольно хорошо изучена, тем не менее, еще в конце XIX и в начале XX в. в этом регионе местных микологов и фитопатологов не было. Сбор грибов проводили приезжие специалисты из научных организаций Санкт-Петербурга и Казани (Н.В. Сорокин, Н.А. Наумов). Участники Уральского общества любителей естествознания (УОЛЕ) помогали им в организации и проведении экспедиций в пределах Свердловской обл. Представители УОЛЕ сами собирали материал, но на определение передавали вышеперечисленным специалистам. Некоторый материал собран среднеуральскими краеведами и лесоводами (Н.П. Булычев, П.В. Сюзев, Ю.М. Колосов), однако лесное и сельское хозяйство Свердловской обл. остро нуждалось в местных специалистах – фитопатологах и микологах, которые могли бы проводить регулярные исследования.

Зинаида Афанасьевна Демидова (рис. 1) родилась и получила начальное образование в Перми, а в 1915 г. поступила на высшие Стребутовские сельскохозяйственные курсы в Петрограде. Училась она прекрасно и диплом защищала у Н.И. Вавилова, который подготовил одобрительный отзыв и рекомендацию к публикации ее дипломной работы. В 1920 г. Стребутовские курсы объединили с Каменноостровскими сельскохозяйственными курсами в Петроградскую сельскохозяйственную академию им. И.А. Стебута, а позднее, в 1922 г. реорганизовали в Петроградский сельскохозяйственный институт, где З.А. Демидова начала работать как фитопатолог на кафедре фитопатологии у проф. Н.А. Наумова и готовила дипломную

работу по теме “Признаки видов грибов рода *Sep-toria*, поражающих хлебные злаки”. В полевых исследованиях и в лаборатории ей довелось работать с В.Н. Сукачевым, Б.И. Кравцевым, Н.А. Наумовым, А.А. Ячевским и др. В феврале 1923 г. она была зачислена сотрудником в отдел защиты растений, возглавляемый проф. Н.А. Наумовым при Северо-западной сельскохозяйственной опытной станции (Княжеский Двор в Новгородской губ.). С октября 1923 г. она работала в Государственном институте опытной агрономии, где обучается фитопатологии в лаборатории микологии и фитопатологии А.А. Ячевского, в которой в то время работали Н.А. Наумов, В.Г. Траншель, Н.Н. Воронихин, Б.П. Каракулин и др. (рис. 2).

Весной 1925 г. был первый выпуск специалистов института. Поступали заявки из различных частей страны о необходимости распределения специалистов-фитопатологов, в том числе в г. Свердловск. З.А. Демидова приняла решение работать на Урале. В мае 1925 г. она переехала в г. Свердловск на Станцию защиты растений от болезней и вредителей (СТАЗРА), где возглавляла созданную фитопатологическую лабораторию. В 1926 г. в г. Ленинграде при факультете земледелия Ленинградского сельскохозяйственного института она успешно защитила еще одну дипломную работу.

На СТАЗРА З.А. Демидова работала до 1929 г. За это время впервые на Урале провела широкое обследование зерновых культур на предмет их пораженности болезнями грибной этиологии, в частности головней, провела работы по испытанию эффективности различных фунгицидов и изысканию новых, а также методов обработки зерна против головни. Работы эти проводились в лабораторных и полевых условиях. Полученные результаты быстро внедрялись в сельскохозяйственную практику. Также З.А. Демидова начала



Рис. 1. З.А. Демидова в Институте биологии УФАН СССР (г. Свердловск, 1950-е гг.).



Рис. 2. В лаборатории микологии и фитопатологии А.А. Ячевского на Английском проспекте, 29 (г. Ленинград, 1925 г.). Сидят в первом ряду (*слева направо*): Г.К. Бургвиц, Н.Н. Воронихин, В.Г. Траншель, А.А. Ячевский, С.И. Ванин; стоят во втором – коротком – ряду (*слева направо*): Г.В. Нестерчук, Н.А. Наумов, С.П. Зыбина, Н.А. Наумова, Н.А. Рождественский, З.А. Демидова, Л.С. Гитман; стоят в третьем – замыкающем – ряду (*слева направо*): Г.Н. Доронин, Б.П. Каракулин, Т.Л. Доброзракова, К.А. Бенау, В.С. Бахтин, Е.И. Карпова, Е.П. Будрина, М.Ф. Маркова.

составление списков грибов, вызывающих болезни сельскохозяйственных растений в Свердловской (Уральской) обл.

С 1929 г. она становится старшим научным сотрудником в биологическом секторе созданного в Уральском (Свердловском) отделении Всесоюз-

ного научно-исследовательского института древесины (УОВНИИЛ), где возглавляла микологическую группу. Цель исследований этой группы состояла в изучении поражающих древесину фитопатогенных грибов в лесу и после рубки при хранении на складах, а также влиянии сроков рубки древесины на заражаемость грибами, вызывающих ее гниение. В 1920–1930-е гг. З.А. Демидова регулярно посещала лабораторию А.А. Ячевского с целью обработки полученного материала.

В 1930 г. институт реорганизовали в Уральский научно-исследовательский лесопромышленный институт, а затем – в Уральский научно-исследовательский лесохимический институт (ныне Уральский государственный лесотехнический университет), где З.А. Демидова продолжала возглавлять микологическую лабораторию.

В 1930-е гг. в г. Свердловске начинается период строительства новых крупных жилых районов рядом с заводами-гигантами (Уралмаш, Эльмаш, Химмаш и т.п.), в которых одной из проблем было массовое развитие домовых грибов. З.А. Демидова начала изучать видовой состав микобиоты, предлагала методы борьбы и развернула пропаганду по борьбе с этими вредоносными организмами.

В 1937 г. лаборатория была переведена в систему областного коммунального хозяйства, где сформировали Научно-исследовательскую станцию по борьбе с домовыми грибами, которой руководила Зинаида Афанасьевна. Она проверяла устойчивость древесины и различных строительных материалов после обработки антисептиками к поражению дереворазрушающими грибами, инициировала работы по изысканию возможностей использования продуктов местной химической промышленности в качестве антисептиков для предохранения древесины от разрушений домовыми грибами, проводила исследования по изучению токсичности в отношении домовых грибов различных хромовых и двуххромовых, а также фтористых и кремнефтористых солей. В сентябре 1944 г. З.А. Демидова защитила кандидатскую диссертацию “Испытание токсических свойств в отношении домовых грибов некоторых продуктов уральской химической промышленности” при Свердловском лесотехническом институте.

В 1944 г. создается Институт биологии Уральского филиала АН СССР (ныне Институт экологии растений и животных УрО РАН), в состав которого включили Научно-исследовательскую станцию по борьбе с домовыми грибами в качестве лаборатории фитопатологии, а З.А. Демидова стала ее руководителем. В течение 1945 г. она некоторое время была заместителем директора Института биологии УФА. В лаборатории под ее руководством были продолжены работы по изучению домовых грибов и разрабатывались методы оценки токсичности различных антисептиков, защиты древесины от гниения и выявления их видо-

вого состава их возбудителей, морфофизиологической и биохимической специфики домовых грибов. С 1945 г., благодаря деятельности Зинаиды Афанасьевны, были начаты регулярные экспедиции на Северный Урал для выявления видového состава патогенных грибов древесины.

В 1949 г. на совете Научно-технического общества строителей г. Свердловска З.А. Демидова сделала доклад “Причины и последствия поражения древесины домовыми грибами”, выводы и рекомендации которого были взяты на вооружение администрацией Свердловской обл. В 1951 г. З.А. Демидова получила правительственное задание на ускорение исследований изучаемого ей антисептика (кремнефтористого аммония) и внедрения его в производство. Работы проводились в Москве на базе предприятия “Союзантисептик”. В результате получила благодарность от Президиума АН СССР за успешное внедрение работ, имеющих научное и научно-хозяйственное значение (за подписью научного секретаря Президиума АН СССР акад. А.В. Топчиева). Полученные успехи позволили начать производство пробных партий кремнефтористого аммония в 1952 г. на Винницком суперфосфатном заводе. Начались пробные исследования антисептика в различных частях страны. В 1954 г. Зинаида Афанасьевна сделала доклад по итогам испытания антисептика в строительстве на заседании комитета Министерства строительства СССР с участием представителей заинтересованных организаций. По итогам заседания кремнефтористый аммоний был принят как антисептик для обработки древесины с целью предохранения ее от гниения и включен в общесоюзную инструкцию, а З.А. Демидова получила орден “Знак почета” и авторское свидетельство. Выпуск антисептика наладили на Рижском суперфосфатном заводе.

В 1950-е гг. З.А. Демидова продолжила исследования грибов, приводящих к гибели всходов ржи весной. Ею был выделен гриб из рода *Sclerotinia*, который очень часто встречался в Свердловской обл. в качестве вредителя посевов озимых зерновых культур, и даны рекомендации по борьбе с болезнями зерновых культур. Позднее под ее руководством были начаты исследования биологии *Sclerotinia* в лабораторных и полевых условиях. Также проводились исследование комплексов патогенных грибов картофеля, учеты зараженности растений на опытных сортовых посевах, были выведены сорта картофеля, устойчивые к фитофторозу.

В 1956 г. произошла реорганизация Института биологии УФА, в связи с чем темы, касающиеся сельского хозяйства, были переданы в другие профильные организации, а в Институте Зинаида Афанасьевна возглавила микологическую группу, в которую вошла, например, такая известная в будущем миколог как Н.Т. Степанова. В научную те-

матику этой группы были включены исследования биоразнообразия дереворазрушающих грибов Северного и Среднего Урала.

В 1959 г. З.А. Демидова начала исследования видового состава ржавчинных грибов на широком круге растений-хозяев. В 1962 г. ею была опубликована работа "К флоре ржавчинных грибов на Урале". В начале 1960-х гг. З.А. Демидова обрабатывала и обобщала материалы по разнообразию домашних грибов на лесосеках, складах на строительных конструкциях. Также в 1960 г. она подготовила обобщающий материал об истории микологических и фитопатологических исследований на Урале. После выхода на пенсию в 1960 г., З.А. Демидова продолжала трудиться в Институте биологии УФАИ и опубликовала в этот период материалы по изучению головневых грибов на Урале, тем самым возвратившись к проблеме, с которой начинала свои исследования в СТАЗРА. В 1963 г. она опубликовала работу, в которой подвела итог исследований разнообразия базидиальных грибов, поражающих древесину на Урале.

Зинаида Афанасьевна активно участвовала в организации и проведении научных и научно-практических конференций, руководила научными экспедициями в ранее не изученные районы Урала, участвовала в подготовке нового поколения микологов и фитопатологов, что способствовало формированию научной школы микологов ИЭРиЖ УрО РАН.

В микологической коллекции Института экологии растений и животных УрО РАН (SVER) депонировано 594 образца грибов, собранных Зинаидой Афанасьевной, и 10 образцов хранятся в микологическом гербарии LEP лаборатории микологии и фитопатологии имени А.А. Ячевского во Всероссийском институте защиты растений.

Основные научные работы З.А. Демидовой

Демидова З.А. Краткий обзор болезней культурных и дикорастущих растений Уральской области // Бюллетень Уралоблзу. 1925. № 10. С. 1–15.

Демидова З.А. Наблюдения над видами *Septoria* на злаках // Материалы по микологии и фитопатологии Государственного института опытной агрономии. 1926. Т. 5. Вып. 2. С. 37–59.

Демидова З.А. К обследованию пшениц Уральской области // Бюллетень Уралоблзу. 1926. № 25–26. С. 12–16.

Демидова З.А. Как крестьянину ставить опыты по испытанию различных способов предохраняющих хлеб от заражения головней // Бюллетень Уралоблзу. 1926. № 25–26. С. 27–31.

Демидова З.А. Значение головни для Уральской области и новые средства борьбы с нею // Уралоблзу. 1927. № 27. С. 9–16.

Демидова З.А. Ржавчина хлебных злаков и меры борьбы с ней // Уралоблзу. 1927. № 28. С. 25–31.

Демидова З.А. Инструкция по проведению наблюдений за заболеваниями главнейших полевых культур // Уралоблзу. 1927. № 28. С. 32–36.

Демидова З.А. Картофельная болезнь на Урале // Сборник секции УОЛЕ по огородничеству и садоводству. 1929. № 2. С. 17–20.

Демидова З.А. Опыты сравнительного протравливания зерна пшеницы от мокрой головни // Уралоблзу. 1929. № 30. С. 12–17.

Демидова З.А. Инструкция по обеззараживанию посевных семян от головни // Уралоблзу. 1929. № 30. С. 26–32.

Демидова З.А. Большое внимание рациональному хранению лесоматериалов // Лес Уралкузб. 1933. № 7. С. 8–11.

Демидова З.А. Новое антисептическое средство // Опыт стройки. 1936. № 2. С. 29–32.

Демидова З.А. Химическая защита в зимнее время древесины от загнивания // Опыт стройки. 1939. № 4. С. 5–11.

Демидова З.А. Домовые грибы и меры борьбы с ними. Свердловск: Свердловгиз, 1939. 34 с.

Демидова З.А. Микофлора древесины на лесоскладах и в постройках // Рефераты работ, выполненных в Ин-те биологии УФАИ в 1945 г. Свердловск: УФАИ СССР, 1946. С. 8–9.

Демидова З.А. К вопросу изучения методов защиты древесины от загнивания // Рефераты работ, выполненных в Ин-те биологии УФАИ в 1945 г. Свердловск: Изд-во УФАИ СССР, 1946. С. 9–10.

Демидова З.А. К морфологической изменчивости воздушного мицелия грибов *Merulius domesticus*, *Coprinophaga cerebella* и *Poria variegata* при развитии на различных средах // Рефераты докладов на сессии Ин-та биологии УФАИ. Свердловск: Изд-во ИБ УФАИ, 1947. С. 41–42.

Демидова З.А. Изучение токсических свойств двухромовых и хромовых соединений и стойкости обработанной ими древесины в отношении домашних грибов // Труды Ин-та биологии УФАИ. Вып. 3, ч. 1. Свердловск: УФАИ СССР, 1949. С. 31–64.

Демидова З.А. Испытание хромпика в качестве антисептика на строительных объектах // Труды Ин-та биологии УФАИ. Вып. 3. Ч. 1. Свердловск: ИБ УФАИ, 1949. С. 83–89.

Демидова З.А. Исследование антисептических свойств кремнефторидов // Труды Ин-та биологии УФАИ. Вып. 3. Ч. 1. Свердловск: УФАИ СССР, 1949. С. 29–30.

Демидова З.А. Новая среда для культуры домашних грибов // Труды Ин-та биологии УФАИ. Вып. 3, ч. 1. Свердловск: УФАИ СССР, 1949. С. 106–113.

Демидова З.А. Краткие сведения о весенних грибных болезнях озимых культур и указания к проведению наблюдений над пораженностью посевов. Свердловск: УФАИ СССР, 1950. 14 с.

Демидова З.А. О влиянии сезона заготовки древесины на поражаемость ее грибами // Труды Ин-та биологии УФАИ. Вып. 5. Свердловск: АН СССР, 1954. С. 100–110.

Демидова З.А. Обработка кремнефтористым аммонием, как средство промышленной стойкости древесины против поражения домашними грибами // Труды Ин-та биологии УФАИ. Вып. 5, ч. 2. Свердловск: АН СССР, 1954. С. 87–99.

Демидова З.А. Новый антисептик для предохранения древесины от гниения. Свердловск: Свердлов. книж. изд-во, 1955. 31 с.

Демидова З.А. Краткий обзор исследований по микологии и фитопатологии на Урале // Труды Ин-та биологии УФАН. 1960. № 17. С. 5–15.

Демидова З.А. Домовые грибы в уральском строительстве // Труды Ин-та биологии УФАН. 1960. № 17. С. 16–25.

Демидова З.А. К флоре ржавчинных грибов Урала // Труды Ин-та биологии УФАН. 1962. Вып. 28. С. 111–118.

Демидова З.А. Базилиальные грибы, поражающие древесину на Урале // Труды Ин-та биологии УФАН. 1963. Вып. 32. С. 1–49.

Демидова З.А. О головневых грибах Урала // Споры растения Урала: материалы по изучению флоры и растительности Урала. Вып. 4. Свердловск: УФАН СССР, 1970. С. 53–60 (Тр. Ин-та экологии растений и животных, вып. 70).

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 22-26-00228). Авторы признательны М.М. Гомжиной (Всероссийский институт защиты растений, Санкт-Петербург) за помощь в подготовке публикации.

In Memoriam. Zinaida Afanasyevna Demidova (1894–1985)

A. G. Shiryaev^{a,#}, O. S. Shiryayeva^{a,##}, I. V. Zmitrovich^{b,###}, and N. G. Erokhin^{a,####}

^a*Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia*

^b*Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia*

[#]*e-mail: anton.g.shiryaev@gmail.com*

^{##}*e-mail: olga.s.shiryayeva@gmail.com*

^{###}*e-mail: iv_zmitrovich@mail.ru*

^{####}*e-mail: eng@ipae.uran.ru*