

УДК 582.284:582.26

*Н.В. Неустроева, В.А. Мухин, И.В. Новаковская, Е.Н. Патова***ГОСТАЛЬНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МИЦЕТОБИОНТНЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ<sup>1</sup>**

Рассмотрены особенности видового состава мицетобионтных водорослей, населяющих базидиокарпы *Cerrena unicolor*, *Stereum hirsutum*, *S. subtomentosum*, *Trichaptum abietinum*, *T. fuscoviolaceum*, *T. biforme* в предлесостепных сосново-березовых и южно-таежных елово-пихтовых лесах Среднего Урала. Идентификацию водорослей проводили при прямом микроскопировании базидиокарпов и с использованием методики накопительных культур на агаризованной среде 3N BBM. Большая часть мицетобионтных водорослей обнаруживается при прямом микроскопировании базидиокарпов, меньшая – в культурах. Первая группа – это физиологически активная часть мицетобионтных сообществ, характеризующая их актуальное биоразнообразие, а вторая – потенциальное, реализуемое при каких-то определенных условиях или период вегетационного сезона. Показано, что основу мицетобионтных сообществ (96 %) составляют одноклеточные и колониально коккоидные, реже нитчатые зеленые водоросли. В их составе нет облигатных мицетобионтов и все это известные почвенные, литофильные, эпифитные, водоросли, а также фотобионты лишайников. Мицетобионтные сообщества, ассоциированные с разными видами грибов, различаются по количеству видов (6-15) и их составу: наиболее близок состав водорослей, населяющих базидиокарпы *Trichaptum fuscoviolaceum* и *T. biforme*, а также *Stereum hirsutum* и *S. subtomentosum*. Мицетобионтные водоросли заметно различаются по гостальной специфичности и пластичности. Одни из них встречаются в базидиокарпах только одного гриба, реже в базидиокарпах всех грибов (*Coenochloris signiensis*, *Interfilum terricola* и *Pseudococcomyxa simplex*), что указывает на избирательное отношение мицетобионтных водорослей к грибам. В среднем один базидиокарп населяют от 4 до 6 видов водорослей.

*Ключевые слова:* дереворазрушающие грибы, мицетобионтные водоросли, биоразнообразие, симбиоз.

Одним из значимых научных достижений в экологии ксилотрофных грибов последних лет является открытие у них симбиотических связей с водорослями [1-4]. Взаимоотношения мицетобионтных водорослей, населяющих базидиокарпы, с грибами можно определить как ассоциативный симбиоз, где гриб – это хозяин-макропартнер, основной вид водорослей – стабильный доминантный симбионт, а остальные водоросли – ассоциированные симбионты. Взаимовыгодный характер взаимоотношений не вызывает сомнений – водоросли получают некоторую защиту от повышенной инсоляции, воду и диоксид углерода, образующиеся при грибном дыхании, а грибы дополнительный по отношению к древесине источник углеродного и азотного питания [5; 6]. В настоящее время одним из первоочередных вопросов является изучение таксономического состава, биоморфологических особенностей мицетобионтных водорослей и степени облигатности их симбиотических связей с грибами.

В настоящей работе рассматриваются вопросы специфичности и изменчивости видового состава мицетобионтных водорослей, ассоциированных с разными видами ксилотрофных грибов – гостальная изменчивость.

**Материал и методы исследований**

Особенности таксономического состава мицетобионтных водорослей рассматриваются на примере 6 широко распространенных видов ксилотрофных базидиомицетов: *Cerrena unicolor* (Bull.) Murrill, *Stereum hirsutum* (Willd.) Pers., *S. subtomentosum* Pouzar, *Trichaptum abietinum* (Dicks.) Ryvardeen, *T. fuscoviolaceum* (Ehrenb.) Ryvardeen, *T. biforme* (Fr.) Ryvardeen. Базидиокарпы грибов были собраны в предлесостепных сосново-березовых (Биостанция Уральского федерального университета, 56°36'5" с.ш., 61°3'24" в.д.) и в южно-таежных елово-пихтовых (Шалинский р-н Свердловской обл., 57°21'01" с.ш. 58°41'54" в. д.) лесах Среднего Урала, в летне-осенний период 2015 г.

Идентификацию водорослей проводили как при прямом микроскопировании базидиокарпов, так и с использованием методики накопительных культур на агаризованной среде 3NBMM. Перед посевами плодовые тела размачивали, затем с поверхности подготовленного базидиокарпа одноразовой стерильной пипеткой отбирали по 2-3 капли и высевали в чашку Петри. При прямой микроскопии образцов с увлажненной дистиллированной водой базидиокарпов соскабливался слой мицетобионтных водорослей со всей глубины проникновения их в плодовое тело (для каждого образца препа-

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 15-04-06881) и Президиума УрО РАН (проект № 15-12-4-27).

рат готовился не менее чем три раза). Для изучения локализации мицетобионтных водорослей изготавливались срезы, толщиной 20 мкм с помощью микротомы «ТЕХНОМ МЗП-1003». Просмотр водорослей выполнен на микроскопах NikonEclipse 80i и LeicaDM 2000, при увеличении  $\times 400$ ,  $\times 1000$ . Идентификацию водорослей проводили по отечественным и зарубежным определителям и отдельным научным публикациям [7-11]. Номенклатура водорослей приведена по [7; 8] с уточнением по AlgaeBase [12]. Номенклатура грибов приведена по MycoBank [13]. Сходство таксономического состава альгогруппировок, ассоциированных с ксилотрофными базидиомицетами, рассчитывали по Сьеренсену-Чекановскому, а для выявления и оценки тесноты связи между двумя рядами сопоставляемых показателей использовали коэффициент корреляции Спирмана (STATISTICA 7.0).

## Результаты и их обсуждение

Базидиокарпы исследуемой группы грибов населяют водоросли 27 таксонов трех отделов – *Chlorophyta*, *Streptophyta*, *Eustigmatophyta*. Во всех случаях абсолютно (96%) преобладают зеленые водоросли (отделы *Chlorophyta*, *Streptophyta*), желтозеленые водоросли (*Eustigmatophyta*) представлены одним видом: *Vischeria helvetica*. Среди мицетобионтных водорослей нет облигатных представителей этой экологической группы. 19 видов встречаются в почвенных, 12 – в литофильных, а 14 – в эпифитных альгосинузиях. 7 видов (*Chloroidium ellipsoideum*, *Chloroidium saccharophilum*, *Diplosphaera chodatii*, *Elliptochloris bilobata*, *Pseudococcomyxa simplex*, *Stichococcus bacillaris*, *Trebouxia sp.*) известны как фотобионты лишайников. В биоморфологическом отношении водоросли – симбионты ксилотрофных грибов преимущественно одноклеточные коккоидные (56 %), реже нитчатые (18 %), колониально-коккоидные (22 %) и монадные (4 %) организмы.

Большая часть мицетобионтных водорослей – *Chlorella vulgaris*, *Ch. vulgaris f. globosa*, *Chloroidium saccharophilum*, *Coenochloris oleifera*, *C. signiensis*, *Desmococcus olivaceus*, *Interfilum terricola*, *Klebsormidium flaccidum*, *Pseudococcomyxa simplex*, *Stichococcus bacillaris*, *S. minor*, *Bracteacoccus sp.*, *Chlamydomonas sp.*, *Sporotetras polydermatica*, *Trebouxia sp.*, *Vischeria helvetica* – обнаруживается при прямом микроскопировании базидиокарпов. За немногими исключениями – *Bracteacoccus sp.*, *Chlamydomonas sp.*, *Sporotetras polydermatica*, *Trebouxia sp.*, *Vischeria helvetica* – эти же виды диагностируются и при высевах на агаризированные среды.

Вторая, меньшая часть мицетобионтных водорослей диагностируется только в культурах на агаризированных средах: *Chlorella sp.1*, *Chlorococcum lobatum*, *Chloroidium ellipsoideum*, *Diplosphaera chodatii*, *Klebsormidium sp.*, *Neosporangiococcum granatum*, *Neosporangiococcum sp.*, *Parietochloris alveolaris*, *Tetracystis macrostigmata*. Скорее всего, в базидиокарпах они находятся в виде каких-то физиологически не активных структур. На наш взгляд, первая группа водорослей представляют активный компонент мицетобионтных сообществ, и характеризует актуальное биоразнообразие, а вторая – потенциальное, реализуемое при благоприятных условиях или в определенный период вегетационного сезона. Как показывает корреляционный анализ, видовое богатство данных групп мицетобионтных водорослей тесно и положительно связаны: коэффициент корреляции Спирмана равен 0,92 ( $p = 0.007$ ,  $n = 6$ ).

На гостальном уровне мицетобионтные сообщества различаются как по количеству видов, так и по их составу. Наибольшим разнообразием водорослей отличаются базидиокарпы *Trichaptum fuscoviolaceum* и *Cerrena unicolor*: 15 и 12 таксонов, соответственно. 6-7 видов мицетобионтов насчитывается в базидиокарпах *Stereum hirsutum* и *S. subtomentosum* и 9-10 в базидиокарпах *Trichaptum abietinum* и *T. biforme*. В среднем на один базидиокарп приходится 4-5, реже 6 видов водорослей. Если учитывать только виды, диагностируемые при прямом микроскопировании, то единичный базидиокарп в среднем населяют 3 (*Cerrena unicolor*, *Trichaptum abietinum*, *T. fuscoviolaceum*), 4 (*Stereum hirsutum*, *S. subtomentosum*), 5 (*Trichaptum biforme*) видов мицетобионтных водорослей (табл. 1).

Мицетобионтные водоросли заметно различаются по гостальной специфичности и пластичности. Только три вида (*Coenochloris signiensis*, *Interfilum terricola* и *Pseudococcomyxa simplex*) являются мицетобионтами всех 6 видов грибов (табл. 1), это мелкоклеточные широко распространенные таксоны, толерантные в широком диапазоне к перепадам влажности и температуры. Они характеризуются наличием слизи на поверхности клеточной оболочки, что способствует устойчивости данных видов к неблагоприятным факторам среды и отсутствию избирательности при выборе субстратов. Большая часть выявленных водорослей встречается в базидиокарпах 2-3-4 видов грибов. Только на одном виде грибов встречаются: *Bracteacoccus sp.*, *Chlorella sp.1*, *Chlorococcum lobatum*, *Chloroidium ellipsoideum*, *Diplosphaera chodatii*, *Elliptochloris bilobata*, *Klebsormidium sp.*, *Neosporangiococcum sp.*, *Parietochloris alveolaris*, *Sporotetras polydermatica*, *Tetracystis macrostigmata*, *Vischeria helvetica*. Меньше всего (10–

14 %) таких водорослей среди мицетобионтов *Trichaptum biforme*, *Stereum hirsutum*, в остальных случаях этот показатель выше и составляет 22–33 %. Все это, как мы считаем, указывает на избирательное отношение мицетобионтных водорослей к грибам.

Таблица 1

## Таксономический состав мицетобионтных водорослей в исследованных базидиокарпах

Название таксона	I	II	III	IV	V	VI
<i>Bracteacoccus</i> sp.						1
<i>Chlamydomonas</i> sp.		1	1			1
<i>Chlorella</i> sp.1	0					
<i>Chlorella vulgaris</i> Beyerinck	0			2		
<i>Chlorella vulgaris</i> f. <i>globosa</i> V.M. Andreyeva				2		
<i>Chlorococcum lobatum</i> (Korshikov) F.E. Fritsch & R.P. John	0					
<i>Chloroidium ellipsoideum</i> (Gerneck) Darienko, Gustavs, Mudimu, Menendez, Schumann, Karsten, Friedl & Proschold			0			
<i>Chloroidium saccharophilum</i> (W.Krüger) Darienko, Gustavs, Mudimu, Menendez, Schumann, Karsten, Friedl & Proschold	2				2	2
<i>Coenochloris oleifera</i> (Broady) I. Kostikov, T. Darienko, A. Lukesová, & L. Hoffmann					2	2
<i>Coenochloris signiensis</i> (Broady) Hindák	2	2	2	2	2	2
<i>Desmococcus olivaceu</i> (Persoon ex Acharius) J.R. Laundon					1	2
<i>Diplosphaera chodatii</i> Bialosukniá					0	
<i>Elliptochloris bilobata</i> Tschermak-Woess						0
<i>Interfilum terricola</i> (J.B.Petersen) Mikhailyuk, Sluiman, Massalski, Mudimu, Demchenko, Friedl&Kondratyuk	2	2	2	2	2	2
<i>Klebsormidium flaccidum</i> (Kützing) P.C. Silva, K.R. Mattox&W.H. Blackwell	0			0	2	
<i>Klebsormidium</i> sp.						0
<i>Myrmecia</i> sp.					2	1
<i>Neosporangiococcum granatum</i> Deason	0			0		0
<i>Neosporangiococcum</i> sp.				0		
<i>Parietochloris alveolaris</i> (H.C. Bold) S. Watanabe&G.L. Floyd						0
<i>Pseudococcomyxa simplex</i> (Mainx) Fott	2	2	2	2	2	2
<i>Sporotetras polydermatica</i> (Kützing) I. Kostikov, T. Darienko, A. Lukesová, & L. Hoffmann		1				
<i>Stichococcus bacillaris</i> Nägeli	2	2			2	2
<i>Stichococcus minor</i> Nägeli	2			1		
<i>Tetracystis macrostigmata</i> Nakano			0			
<i>Trebouxia</i> sp.		1				1
<i>Vischeria helvetica</i> (Vischer&Pascher) D.J. Hibberd	1					
Всего видов	12	7	6	9	10	15
Количество проанализированных базидиокарпов	3	2	1	2	2	4

Примечание. Базидиокарпы: I – *Cerrena unicolor*, II – *Stereum hirsutum*, III – *Stereum subtomentosum*, IV – *Trichaptum abietinum*, V – *Trichaptum biforme*, VI – *Trichaptum fuscoviolaceum*. 0 – встречается только в культурах, 1 – при прямой микроскопии, 2 – при прямой микроскопии и в культурах

Наибольшую близость по составу обнаруживают мицетобионты *Trichaptum fuscoviolaceum* и *T. biforme*, а также *Cerrena unicolor* и *Trichaptum abietinum*. В обоих случаях коэффициент видового сходства Сьеренсена-Чекановского равен 0,67 (табл. 2). Близкий уровень видового сходства регистрируется и для водорослей-мицетобионтов *Stereum hirsutum* и *S. subtomentosum*: 0,62. В двух из трех случаев наиболее близким составом мицетобионтов отличаются виды одного рода. Анализ видового состава водорослей показал аналогичные результаты при прямом микроскопировании базидиокарпов (табл. 2). Самые высокие коэффициенты видового сходства наблюдаются у видов одного рода: *Trichaptum fuscoviolaceum* – *T. biforme* (0,76) и *Stereum hirsutum* – *S. subtomentosum* (0,73). Это указывает на то, что часть мицетобионтных водорослей обнаруживают приуроченность к определенным родам

грибов. Действительно, *Chloroidium ellipsoideum*, *Sporotetras polydermatica* и *Tetracystis macrostigmata* отмечены только в базидиокарпах рода *Stereum*, а таксоны *Bracteacoccus sp.*, *Chlorella vulgaris f. globosa*, *Coenochloris oleifera*, *Desmococcus olivaceus*, *Diplosphaera chodatii*, *Elliptochloris bilobata*, *Klebsormidium sp.*, *Myrmecia sp.*, *Neosporangiococcus sp.*, *Parietochloris alveolaris* – рода *Trichaptum* (табл. 1). Среди микетобионтов видов рода *Trichaptum* преобладают одноклеточные коккоидные (52 %), реже встречаются нитчатые (24 %) и колониально-коккоидные (19 %) водоросли, и монадные (5 %). В базидиокарпах видов рода *Stereum* нитчатые и монадные водоросли составляют всего 23 % и 11 %, а одноклеточные коккоидные и колониально-коккоидные морфотипы равно представлены (33 %).

Таблица 2

## Сходство состава исследованных микетобионтов

Таксон	I	II	III	IV	V	VII
I	–	0,42	0,33	0,67	0,57	0,44
II	<b>0,50</b>	–	0,62	0,38	0,50	0,55
III	<b>0,55</b>	<b>0,73</b>	–	0,40	0,40	0,38
IV	<b>0,53</b>	<b>0,46</b>	<b>0,60</b>	–	0,44	0,33
V	<b>0,67</b>	<b>0,50</b>	<b>0,46</b>	<b>0,53</b>	–	0,67
VII	<b>0,57</b>	<b>0,63</b>	<b>0,50</b>	<b>0,33</b>	<b>0,76</b>	–

Примечание. I – *Cerrena unicolor*, II – *Stereum hirsutum*, III – *Stereum subtomentosum*, IV – *Trichaptum abietinum*, V – *Trichaptum bifforme*, VI – *Trichaptum fuscoviolaceum*. В верхней правой части коэффициент видового сходства Сьеренсена-Чекановского, рассчитанный для всех микетобионтных водорослей, а в нижней – только для видов, диагностируемых при прямом микроскопировании базидиокарпов

## Заключение

В предлесостепных сосново-березовых лесах Среднего Урала в базидиокарпах *Cerrena unicolor*, *Stereum hirsutum*, *S. subtomentosum*, *Trichaptum abietinum*, *T. fuscoviolaceum*, *T. bifforme* встречается 27 видов, представленными в основном одноклеточными, колониальными, коккоидными, реже – нитчатыми зелеными водорослями. Большая часть микетобионтных водорослей обнаруживаются при прямом микроскопировании базидиокарпов, меньшая – в культурах. Первая группа – это физиологически активная часть микетобионтных сообществ, которая характеризует их актуальное биоразнообразие, а вторая – потенциальное, реализуемое при благоприятных условиях или в определенный период вегетационного сезона.

Микетобионтные сообщества, ассоциированные с разными видами грибов, различаются по количеству видов (6-15) и по их составу: наибольшую близость обнаруживают водоросли, живущие в базидиокарпах *Trichaptum fuscoviolaceum* и *T. bifforme*, а также *Stereum hirsutum* и *S. subtomentosum*. Водоросли-микетобионты заметно различаются по гостальной специфичности и пластичности. Одни из них встречаются в базидиокарпах только одного гриба, реже представлены в базидиокарпах всех грибов (*Coenochloris signiensis*, *Interfilum terricola* и *Pseudococcomyxa simplex*), что указывает на их избирательное отношение к грибам.

Среди водорослей, населяющих базидиокарпы ксилотрофных грибов, к настоящему времени не выявлено облигатных микетобионтов. Список идентифицированных таксонов представлен почвенными, литофильными, эпифитными водорослями, а также факультативными фотобионтами лишайников. Видовую принадлежность ряда выявленных видов морфологическими методами установить не удалось. Привлечение молекулярно-генетических методов к исследованию микетобионтных водорослей, возможно, позволит выявить новые и специфичные таксоны, вступающие в симбиозы с доразрушающими грибами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Zavada M.S., Simoes P. The possible demi-lichenization of the basidiocarps of *Trametes versicolor* (L.: Fries) Pilát (Polyporaceae) // Northeastern Naturalist. 2001. Vol. 8, N 1. P. 101-112.
- Zavada M.S., DiMichele L., Toth C.R. The possible demi-lichenization of *Trametes versicolor* (L.: Fries) Pilát (Polyporaceae): the transfer of fixed <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> from epiphytic algae to *T. versicolor* // Northeastern Naturalist. 2004. Vol. 11, N 1. P. 33-40.

3. Stoyneva M. P., Uzunov B. A., Gärtner G., 2016. Aerophytic green algae, epimycotic on *Fomes fomentarius* (L. ex FR.) Kickx. Annual Of Sofia University «St. Kliment Ohridski» Faculty of Biology, Book 2 – Botany. Sofia: St. Kliment Ohridski University Press, 2016. Vol. 99. P. 19- 25.
4. Неустроева Н.В., Мухин В.А. Симбиотические ассоциации ксилотрофных базидиомицетов и водорослей // Современная ботаника в России: Тр. XIII съезда Рус. бот. об-ва и конф. «Научные основы охраны и рационального использования растительного покрова Волжского бассейна». Тольятти: Кассандра, 2013. Т. 1. С. 163-164.
5. Неустроева Н.В., Киселева И.С., Мухин В.А. Углеродный обмен мицетобионтных водорослей с дереворазрушающими грибами // Биоразнообразие и экология грибов и грибоподобных организмов Северной Евразии: Материалы Всерос. конф. с междунар. участием. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. С. 176-178.
6. Мухин В.А., Патова Е.Н., Киселева И.С. Неустроева Н.В., Новаковская И.В. Мицетобионтные водоросли-симбионты дереворазрушающих грибов // Экология. 2016. № 2. С. 103-108.
7. Андреева В.М. Почвенные и аэрофильные зеленые водоросли (*Chlorophyta: Tetrasporales, Chlorococcales, Chlorosarcinales*). СПб.: Наука, 1998. 352 с.
8. Ettl, H., Gärtner, G. Syllabus der Boden-, Luft- und Flechtenalgen. 2, ergänzte Auflage. Berlin & Heidelberg: Springer Spektrum, 2014. 773 p.
9. Komárek J., Fott B. *Chlorophyceae* (Grünalgen). Ordnung: *Chlorococcales*. 7. 1 Teil. Hälfte. Stuttgart: Das Phytoplankton des Süßwassers, 1983. 1043 p.
10. Mikhailuk T., Holzinger A., Massalski A. and Karsten U. Morphology and ultrastructure of *Interfilum* and *Klebsormidium* (*Klebsormidiales, Streptophyta*) with special reference to cell division and thallus formation. // Eur. J. Phycol. 2014. Vol. 49, N 4. P. 395–412.
11. Rindi F., Guiry M.D., Lopez-Bautista J.M. Distribution, morphology, and phylogeny of *Klebsormidium* (*Klebsormidiales, Charophyceae*) in urban environments in Europe // J. Phycol. 2008. Vol. 44, N 6. P. 1529-1540.
12. Guiry M.D. & Guiry G.M. 2016. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. URL: <http://www.algaebase.org/> (дата обращения: 01.05.2017).
13. MycoBank. URL: <http://www.mycobank.org/> (дата обращения: 01.05.2017).

Поступила в редакцию 07.07.17

*N.V. Neustroeva, V.A. Mukhin, I.V. Novakovskaya, E.N. Patova*

#### HOSTAL VARIABILITY OF MYCETOBIONT ALGAE

Specific features of the species composition of mycetobiont algae inhabiting the basidiocarps *Cerrena unicolor*, *Stereum hirsutum*, *S. subtomentosum*, *Trichaptum abietinum*, *T. fuscoviolaceum*, *T. bifforme* in the pre-forest-steppe pine-birch and southern taiga spruce forests of the Middle Urals are considered. The identification of algae was carried out with direct microscopy of basidiocarp and using the method of storage cultures on agar medium 3N BBM. Most of the mycetobiont algae are found with direct microscopy of basidiocarp, less – in cultures. The first group is a physiologically active part of the mycetobiont communities that characterizes their actual biodiversity, and the second group is a potential one that is realized under certain specific conditions or a period of growing season. It is shown that the basis of mycetobiont communities (96 %) is unicellular and colonial coccoid, less often filamentous green algae. In their composition, there are no obligate mycetobionts and all this is known soil, lithophilic, epiphytic, algae, as well as photobionts of lichens. The mycetobiont communities associated with different species of fungi differ in the number of species (6-15) and in their composition: the composition of algae inhabiting the basidiocarp *Trichaptum fuscoviolaceum* and *T. bifforme*, as well as the *Stereum hirsutum* and *S. subtomentosum*, is closest. The mycetobiont algae differ markedly in hostal specificity and plasticity. Some of them are found in basidiocarps of only one fungus, less often in basidiocarps of all fungi (*Coenochloris signiensis*, *Interfilum terricola* and *Pseudococcomyxa simplex*), which indicates a selective ratio of mycetobiont algae to fungi. On average, from 4 to 6 species of algae inhabit one basidiocarp.

**Keywords:** wood-destroying fungi, mycetobiont algae, biodiversity, symbiosis.

#### REFERENCE

1. Zavada M.S. and Simoes P. The possible demi-lichenization of the basidiocarps of *Trametes versicolor* (L.: Fries) Pilát (Polyporaceae, in *Northeastern Naturalist*, 2001, vol. 8, no. 1, pp. 101-112.
2. Zavada M.S., DiMichele L. and Toth C.R. The possible demi-lichenization of *Trametes versicolor* (L.: Fries) Pilát (Polyporaceae): the transfer of fixed <sup>14</sup>C<sup>14</sup>O<sub>2</sub> from epiphytic algae to *T. versicolor*, in *Northeastern Naturalist*, 2004, vol. 11, no. 1, pp. 33-40.
3. Stoyneva M.P., Uzunov B.A., and Gärtner G. Aerophytic green algae, epimycotic on *Fomes fomentarius* (L. ex FR.) Kickx., in *Annual Of Sofia University «ST. Kliment Ohridski» Faculty of Biology*, Book 2 – Botany, Sofia: St. Kliment Ohridski University Press, 2016, vol. 99, pp. 19-25.
4. Neustroeva N.V. and Mukhin V.A. [Symbiotic associations of wood-decomposing basidiomycetes and algae], in *Tez. dokl. VIII Delegat. s'ezda RBO i konf. "Nauchnyie osnovy ohranyi i ratsionalnogo ispolzovaniya rastitelnogo pokrova Volzhskogo basseyna"*, Tolyatti: Cassandra, 2013, vol.1, pp. 163-164 (in Russ.).

5. Neustroeva N.V., Kiseleva I.S., Mukhin V.A. [Carbohydrate metabolism of mycetobiont algae with wood-decomposing fungi], in *Mater. of All-Russian Conf. with internation participation "Biodiversity and ecology of fungi and mushroom-like organisms of Northern Eurasia"*, Ekaterinburg: Izd-vo Urals un-ta, 2015, pp. 176-178 (in Russ.).
6. Mukhin V.A., Patova E.N., Kiseleva I.S., Neustroeva N.V. and Novakovskaya I.V. Mycetobiont symbiotic algae of wood-decomposing fungi, in *Russ J Ecol.*, 2016, vol. 47, iss. 2, pp. 133-137 (in Russ.).
7. Andreeva V.M. *Pochvennye i aerofil'nye zelenye vodorosli (Chlorophyta: Tetrasporales, Chlorococcales, Chlorosarcinales)* [Terrestrial and aerophilic green algae (Chlorophyta: Tetrasporales, Chlorococcales, Chlorosarcinales)], St. Petersburg: Nauka, 1998, 352 p. (in Russ.).
8. Ettl H. and Gartner G. *Syllabus der Boden-, Luft- und Flechtenalgen. 2., ergänzte Auflage*, Berlin Heidelberg: Springer Spektrum, 2014, 773p.
9. Komárek J. and Fott B. *Chlorophyceae (Grünalgen). Ordnung: Chlorococcales. 7. 1 Teil. Hälfte*, Stuttgart: Das Phytoplankton des Süßwassers, 1983, 1043 p.
10. Mikhailiuk T., Holzinger A., Massalski A. and Karsten U. Morphology and ultrastructure of *Interfilum* and *Klebsormidium* (*Klebsormidiales*, *Streptophyta*) with special reference to cell division and thallus formation, in *Eur. J. Phycol.*, 2014, vol. 49, no. 4, pp. 395-412.
11. Rindi F., Guiry M.D. and Lopez-Bautista J.M. Distribution, morphology, and phylogeny of *Klebsormidium* (*Klebsormidiales*, *Charophyceae*) in urban environments in Europe, in *J. Phycol.*, 2008, vol. 44, no. 6, pp. 1529-1540.
12. Guiry M.D. and Guiry G.M. 2016. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. URL: <http://www.algaebase.org/> (accessed: 01.05.2017).
13. MycoBank. URL: <http://www.mycobank.org/> (accessed: 01.05.2017).

Неустроева Надежда Викторовна,  
инженер-исследователь  
ФГБОУ ВО «Уральский федеральный университет  
им. первого Президента России Б.Н. Ельцина»  
620002, Россия, Екатеринбург, ул. Мира, 19  
младший научный сотрудник  
Институт экологии растений и животных  
УрО РАН  
620144, Россия, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202  
E-mail: [pushistoeulitko@yandex.ru](mailto:pushistoeulitko@yandex.ru)

Мухин Виктор Андреевич,  
доктор биологических наук, профессор  
главный научный сотрудник,  
Заслуженный деятель науки РФ  
Институт экологии растений и животных  
УрО РАН  
620144, Россия, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202  
заведующий кафедрой биоразнообразия и биоэкологии  
ФГБОУ ВО «Уральский федеральный университет  
им. первого Президента России Б.Н. Ельцина»  
620002, Россия, Екатеринбург, ул. Мира, 19  
E-mail: [victor.mukhin@ipae.uran.ru](mailto:victor.mukhin@ipae.uran.ru)

Новаковская Ирина Владимировна,  
кандидат биологических наук, научный сотрудник  
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
167982, Россия, Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28  
E-mail: [novakovskaya@ib.komisc.ru](mailto:novakovskaya@ib.komisc.ru)

Патова Елена Николаевна,  
кандидат биологических наук, заведующая  
лабораторией геоботаники и сравнительной флористики  
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
167982, Россия, Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28  
E-mail: [patova@ib.komisc.ru](mailto:patova@ib.komisc.ru)

Neustroeva N.V.,  
Engineer-researcher  
Ural Federal University named after  
the First President of Russia B.N. Yeltsin  
Mira st., 19, Yekaterinburg, Russia, 620002  
junior researcher  
Institute of Plant and Animal Ecology  
of the Ural Branch of Russian Academy of Sciences,  
8<sup>90</sup> Marta st., 202, Yekaterinburg, Russia, 620144  
E-mail: [pushistoeulitko@yandex.ru](mailto:pushistoeulitko@yandex.ru)

Mukhin V.A.,  
Doctor of Biology, Professor,  
Honored Scientist of the Russian Federation,  
Chief Researcher  
Institute of Plant and Animal Ecology  
of the Ural Branch of Russian Academy of Sciences  
8<sup>90</sup> Marta st., 202, Yekaterinburg, Russia, 620144  
Head of the Department of Biodiversity and Bioecology  
Ural Federal University named after  
the First President of Russia B.N. Yeltsin  
Mira st., 19, Yekaterinburg, Russia, 620002  
E-mail: [victor.mukhin@ipae.uran.ru](mailto:victor.mukhin@ipae.uran.ru)

Novakovskaya I.V.,  
Candidate of Biology, researcher  
Institute of Biology, Komi Scientific Centre  
Ural Division, Russian Academy of Sciences  
Kommunisticheskaya st., 28, Syiktyivkar, 167982  
E-mail: [novakovskaya@ib.komisc.ru](mailto:novakovskaya@ib.komisc.ru)

Patova E.N.,  
Candidate of Biology, Head of the laboratory  
of geobotany and comparative floristics  
Institute of Biology, Komi Scientific Centre  
Ural Division, Russian Academy of Sciences  
Kommunisticheskaya st., 28, Syiktyivkar, 167982  
E-mail: [patova@ib.komisc.ru](mailto:patova@ib.komisc.ru)