

Находка теплолюбивого гриба *Laetiporus sulphureus* на территории г. Кирова

© 2023. Д. В. Попыванов¹, к. б. н., зав. лабораторией, с. н. с.,
А. А. Широких¹, д. б. н., в. н. с., Ю. А. Злобина^{1,2,3}, аспирант, м. н. с.,

¹Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого,

610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, д. 166а,

²Вятский государственный университет,
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36,

³ООО «НИИЦ Миколайн»,
610002, Россия, г. Киров, ул. Казанская, д. 190Б-15,
e-mail: 1fast@mail.ru

Впервые на территории г. Кирова обнаружен съедобный лекарственный гриб трутовик серно-жёлтый, характеризующийся более южным ареалом обитания. Проведено выделение чистой культуры трутовика серно-жёлтого с помощью фрагмента плодового тела, извлечённого из внутренней части базидиокарпа. Видовая идентификация гриба подтверждена молекулярно-генетическим методом, результаты депонированы в GenBank: ON130354.1. Проведён филогенетический анализ внесённых в GenBank видов рода *Laetiporus*, имеющих широкий ареал распространения. Исследована антибиотическая активность изолята. Установлено, что гриб ингибирует рост грамположительной бактерии *Arthrobacter humicola* ЗОН и грамотрицательных видов *Pedobacter agri* 85Td, *Pseudomonas cepacia* 5809, *Erwinia rhapontici* ДАГ1-1. Проведено культивирование штамма на жидких питательных средах из растительных отходов, выявлено накопление сухой биомассы мицелия до 1,64 г/л.

Ключевые слова: базидиомицеты, трутовик серно-жёлтый, погружённое культивирование, антибиотики, изменение климата.

Finding of the thermophilic fungus *Laetiporus sulphureus* on the territory of Kirov

© 2023. D. V. Popyvanov¹ ORCID: 0000-0002-4978-4542²

A. A. Shirokikh¹ ORCID: 0000-0002-7808-0376³

Yu. A. Zlobina^{1,2,3} ORCID: 0000-0002-0949-1403³

¹Federal Agricultural Research Center of North-East named N. V. Rudnitsky,
166a, Lenina St., Kirov, Russia, 610007,

²Vyatka State University,

36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,

³LLC “Scientific Research Innovation Center Mycoline”,
190b-15, Kazanskaya St., Kirov, Russia, 610002,
e-mail: 1fast@mail.ru

The first discovery of edible medicinal mushroom sulfur-yellow tinder on the territory of Kirov was registered. The local climate is characterized by the predominance of continental air of temperate latitudes and the weather is unstable in terms of temperatures and precipitation throughout the year. The region is characterized by a long moderately cold and snowy winter, a prolonged spring, early autumn and a moderately warm short summer. The average air temperature in the city of Kirov in winter is -9.2 °C, in summer it is +16.4 °C. The annual precipitation is 582 mm, of which 60–70% falls on the warm season. A pure culture of sulfur-yellow tinder was isolated using a fragment of the fruit body extracted from the inner part of the basidiocarp. The growth rate of isolate *Laetiporus sulphureus* NV on wort agar was 10.6 mm/day, on PGA – 7.8 mm/day. Species identification of the fungus was confirmed by molecular genetic method, the results were deposited in GenBank: ON130354.1. Phylogenetic analysis of species of the genus *Laetiporus* was carried out. The antibiotic activity of the isolate was studied. It was found that the fungus inhibits the growth of gram-positive bacteria *Arthrobacter humicola* ЗОН, *Pedobacter agri* 85Td and gram-negative species *Pseudomonas cepacia* 5809, *Erwinia rhapontici* ДАГ1-1.

tici DAG1-1. As a result of the liquid-phase cultivation of the *L. sulphureus* NV isolate on various liquid nutrient media using a magnetic stirrer, it was found that the greatest accumulation of biomass on 20 days of cultivation is observed on a liquid medium based on a decoction of barley husk with the addition of 2% glucose. The accumulation of dry mycelium biomass up to 1.64 g/L was revealed.

Keywords: basidiomycetes, sulfur yellow tinder, submerged cultivation, antibiotics, climate.

Трутовик серно-жёлтый *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill – базидиальный гриб, вызывающий бурую гниль древесины в основном лиственных пород деревьев. Однолетние плодовые тела ярко-жёлтого цвета, имеют приятный грибной запах и съедобны в молодом возрасте. Серно-жёлтый трутовик имеет широкий ареал распространения (рис. 1, см. цв. вкладку VII).

По имеющимся литературным данным, ареал распространения вида – Европа, Азия и Северная Америка от бореальных до тропических зон [1–4].

На территории Кировской области находки серно-жёлтого трутовика отмечены в заповеднике «Нургуш», который находится в юго-восточной части Котельничского района Кировской области. Плодовые тела гриба обнаружены на валежных и сухостойных стволах *Quercus robur* [5], а также на территории Государственного природного заказника «Пижемский», расположенного вдоль рек Немда и Пижма в юго-западной части Кировской области [6].

На территории г. Кирова до 2021 г. не было описано находок *L. sulphureus*, несмотря на то, что исследования видовой разнообразия микобиоты проводились [7].

Согласно литературным данным и сведениям платформы inaturalist.org находок трутовика серно-жёлтого севернее территории г. Кирова не зарегистрировано. Впервые отмеченная находка *L. sulphureus* на древесине *Acer negundo* относится к 2021 г. Обнаруженное нами плодовое тело трутовика серно-жёлтого (рис. 2, см. цв. вкладку VII) находилось также на стволе *Acer negundo* в парке им. С.М. Кирова (г. Киров 58,588979° с. ш., 49,657883° в. д.). Время находки – июнь 2021 г.

Город Киров расположен в месте расщепления Верхнекамской возвышенности долиной реки Вятки. Основная часть городской территории располагается на левом крутом берегу Вятки, в Средневятской (Кировской) низменности, на семи крупных холмах. Преобладает континентальный воздух умеренных широт и погода, неустойчивая по температурам и осадкам в течение года. Для региона характерна продолжительная умеренно холодная и

снежная зима, затяжная весна, ранняя осень и умеренно тёплое короткое лето. Близость области к Северному Ледовитому океану и отсутствие барьеров для проникновения арктических воздушных масс обуславливают возможность вторжений северо-западных и северных циклонов, вызывающих приток холодного арктического воздуха и резкое изменение погоды.

Климатические изменения позволяют термофильным видам осваивать более северные ареалы местообитания. Согласно данным архива погоды (<http://weatherarchive.ru>), 2021 г. в Кировской области характеризовался более тёплым летним периодом. Так, средняя температура в мае 2021 г. составляла +15,1 °С (за период 2014–2022 гг. средняя температура составила +11,9 °С), в июне 2021 г. средняя температура составила +20 °С (за период 2014–2022 гг. средняя температура составила +11,9 °С). Данный факт позволяет сделать вывод о более широком ареале распространения вида *L. sulphureus*, плодоношение которого наступает лишь при благоприятных условиях (более высокой средней температуре), чем описано в литературных источниках [1–7].

Цель работы – выделить в культуру штамм трутовика серно-жёлтого, провести филогенетический анализ по внутреннему транскрибируемому спейсеру рибосомальной ДНК (ITS), проверить антимикробную активность штамма и рассмотреть возможность использования штамма в целях биоконверсии отходов растениеводства.

Объекты и методы исследования

С целью выделения чистой культуры трутовика серно-жёлтого использован метод изоляции мицелия из плодового тела. Собранное плодовое тело гриба было разрезано стерильным скальпелем в условиях ламинарного бокса. Фрагмент плодового тела, извлечённый из внутренней части базидиокарпа, обработан 3% перекисью водорода и помещён на агаризованное пивное сусло, разведённое до 4° по Баллингу.

После 5 пассажей на агаризованное пивное сусло, микроморфологию *L. sulphu-*

Д. В. Попыванов, А. А. Широких, Ю. А. Злобина
«Находка теплолюбивого гриба
Laetiporus sulphureus на территории г. Кирова». С. 181.

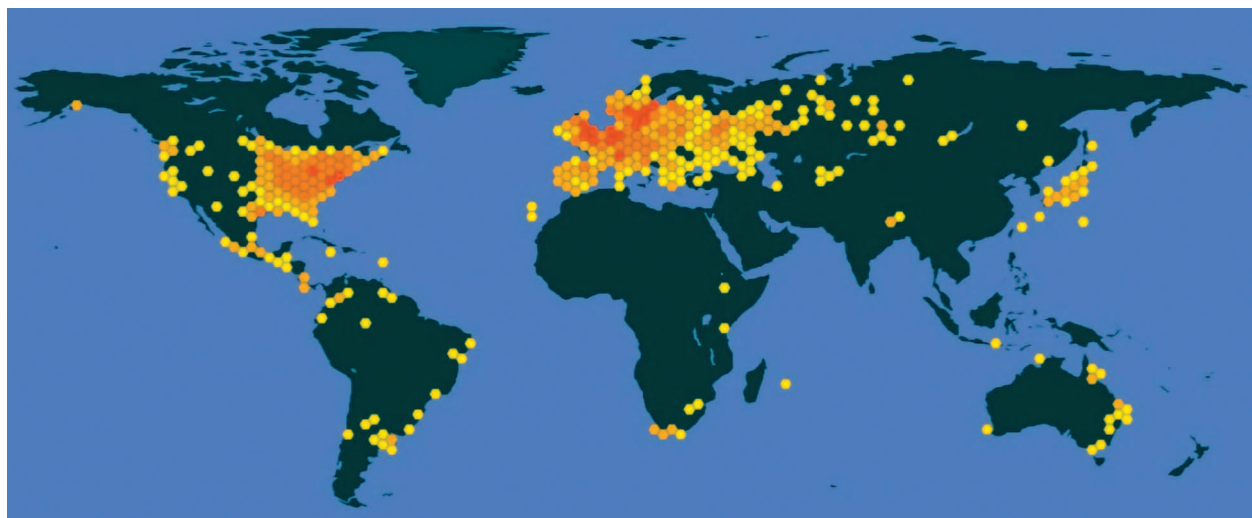


Рис. 1. Ареал распространения *Laetiporus sulphureus* согласно данным GBIF Global Biodiversity Information Facility (<https://www.gbif.org/>)
Fig. 1. Distribution area of *Laetiporus sulphureus* according to GBIF data (<https://www.gbif.org/>)



Рис. 2. Плодовое тело *L. sulphureus*, обнаруженное в парке им. С.М. Кирова
Fig. 2. The fruiting body of *L. sulphureus*, found in the park named by S.M. Kirov

Д. В. Попыванов, А. А. Широких, Ю. А. Злобина
«Находка теплолюбивого гриба
Laetiporus sulphureus на территории г. Кирова». С. 181.

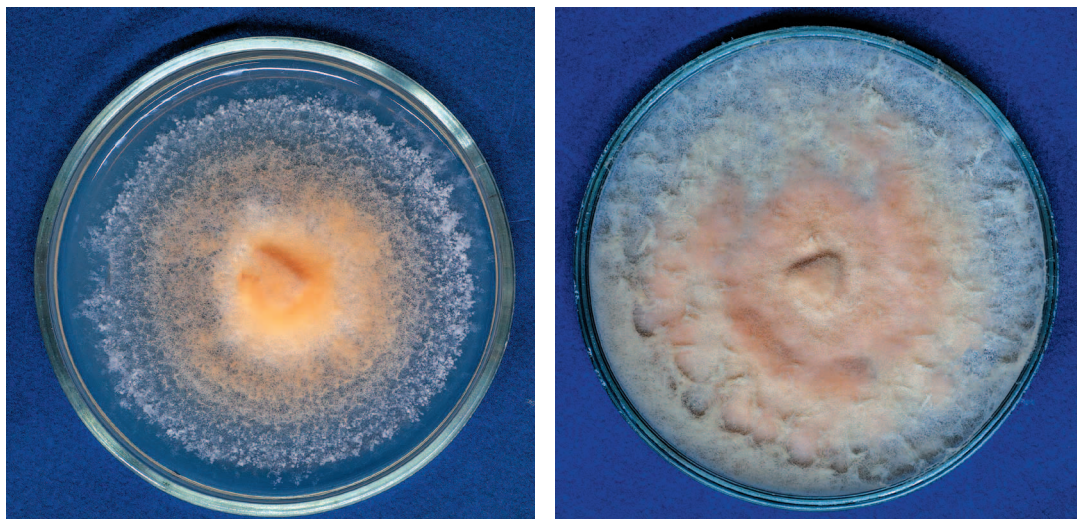


Рис. 3. Морфология колоний *L. sulphureus* на различных по составу питательных средах: картофельно-глюкозный агар (слева) и сусло-агар (справа)
Fig. 3. Morphology of *L. sulphureus* colonies on nutrient media of different composition: potato glucose agar (left) and wort agar (right)

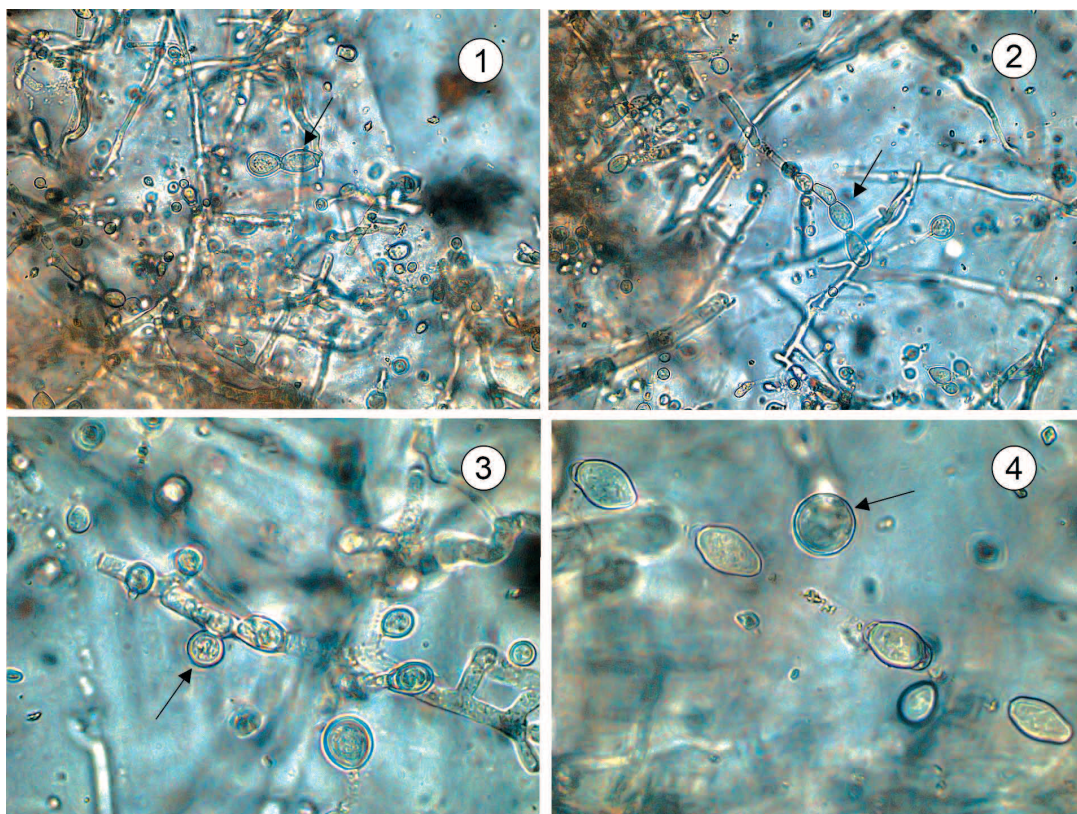


Рис. 4. Бластоконидии (1, 2 – $\times 400$) и хламидоспоры (3, 4 – $\times 100$) *L. sulphureus*
Fig. 4. Blastoconidia (1, 2 – $\times 400$) and chlamydospores (3, 4 – $\times 100$) of *L. sulphureus*

reus исследовали с помощью микроскопа Leica DM2500. Колонии рыхлые, порошковые, бледно-оранжевого цвета, возвышающиеся над субстратом (рис. 3, см. цв. вкладку VIII). Мицелий образован септированными клетками, пряжки на гифах отсутствуют, отмечается наличие бластоконидий и хламидоспор (рис. 4, см. цв. вкладку VIII). Характерные морфологические особенности колонии трутовика серно-жёлтого совпадают с описанными ранее в литературе [8]. Скорость роста на сусло-агаре изолята *L. sulphureus* NV составила 10,6 мм/сут, на картофельно-глюкозный агар (КГА) – 7,8 мм/сут.

Молекулярно-генетический анализ. Определение нуклеотидной последовательности внутреннего транскрибируемого спейсера рибосомальной ДНК (ITS) проводилось на базе ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии (г. Москва).

Анализ нуклеотидной последовательности проведён с применением алгоритма сравнения гомологичных последовательностей BlastN с ресурсами доступных баз данных GenBank.

В работе использовали 27 нуклеотидных последовательностей штаммов *L. sulphureus*, доступных в базе данных GenBank. Выравнивание нуклеотидных последовательностей и построение филогенетического дерева проводили с помощью программы MEGA X [9], использующей алгоритм множественного выравнивания ClustalW с последующим редактированием в ручном режиме. Филогенетическое дерево было построено с помощью метода максимального правдоподобия (maximum likelihood – ML) с использованием модели Tamura-Nei [10]. В качестве независимых эволюционных линий рассматривались клады с bootstrap-значениями (1000 репликаций) $\geq 70\%$.

Полученная в результате секвенирования нуклеотидная последовательность была депонирована в международную базу GenBank под номером ON130354. В качестве сравнительного материала были использованы ITS-последовательности близких видов из рода *Laetiporus*, взятые из GenBank (от 13.09.2022) (табл. 1).

Исследование антимикробной активности *L. sulphureus* проводили методом агаровых блоков с использованием тест-культур грамположительных и грамотрицательных бактерий. В качестве тест-культур грамположительной бактерии был использован штамм *Arthrobacter humicola* 30H, а в каче-

стве грамотрицательных – штаммы *Ewingella americana* 66MT, *Pseudomonas cepacia* 5809, *Erwinia rhapontici* ДАГ1-1 из коллекции лаборатории биотехнологии растений и микроорганизмов ФАНЦ Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого.

Исследование способности гриба к биоконверсии растительных отходов проведено на жидких средах: капустной среде № 19 [11], модифицированной капустной среде с пептоном – 1%, сахарозой – 2% и триптофаном – 0,02%, капустной среде с молочной сывороткой – 1% [12] и жидкой среде на основе отвара ячменной лузги (150 г сухой лузги на 1 л водопроводной воды) с добавлением 2% глюкозы. Культивирование гриба проводилось в колбах с объёмом питательной среды 250 мл в четырёхкратной аналитической повторности. Для их инокуляции использовали выращенную на КГА колонию, мицелий отбирали пробочным сверлом с диаметром 10 мм. Количество посевного материала: 3 агаровых блока с мицелием диаметром 10 мм. Перемешивание культуральной жидкости осуществлялось с помощью магнитной мешалки при скорости 400 об./мин. Температура культивирования 25 °С. После 20 сут культивирования проводилось отделение мицелиальной массы центрифугированием и её высушивание до абсолютно сухого состояния (АСБ) при 105 °С.

Результаты и обсуждение

Согласно опубликованным данным, по филогенетической структуре рода *Laetiporus*, выделяют несколько видов трутовика серно-жёлтого [13, 14].

Вид *L. montanus* встречается в горных районах Центральной Европы и в Китае, где растёт на хвойных деревьях. Особенностью вида является то, что он не отличим морфологически от широко распространённого *L. sulphureus*, отличия есть лишь на генетическом уровне. Проведённый анализ депонированных в GenBank последовательностей позволил выделить отдельную кладу данного вида (bootstrap-значение 77) (рис. 5). Также стоит отметить, что в данную кладу вошёл штамм Ls 1-06 (KF932732), выделенный в Республике Тыва на лиственнице и, возможно, ошибочно депонированный в GenBank как *L. sulphureus*.

Вид *L. versisporus* встречается в основном в южной части Японии. Созревшие плодовые тела полукруглые и состоят из большого числа хламидоспор, гименофор практически не об-

Список образцов нуклеотидных последовательностей,
использованных при филогенетическом анализе
List of samples of nucleotide sequences used in phylogenetic analysis

Наименование таксона Taxon name	Место нахождения образца Sample Location	GenBank ID	Субстрат выделения Substrate	Коллектор Collector
<i>L. montanus</i>	Монголия: Уланбаатор Mongolia: Ulaanbaatar	AB472604	<i>Picea glehnii</i>	Ota Y., Hattori T. [13]
	Япония: Яманашин Japan: Yamanashi	AB308194	Conifer	
	Япония: Хоккайдо Japan: Hokkaido	AB472600	<i>Picea glehnii</i>	
<i>L. versisporus</i>	Тайвань / Taiwan	AB472592	–	Xu T., Liu S. [14] Bellchambers J. [14] Ota Y., Hattori T. [13]
	Китай / China	OP803086	–	
	Австралия / Australia	MK961279	–	
	Япония: Кагошима Japan: Kagoshima	AB308148	–	
<i>L. cremeiporus</i>	Россия: Уссурийск Russia: Ussuriysk	OL764883	Fallen dry wood	Psurtseva N.V. et al. [14]
	Южная Корея South Korea	EU840624	<i>Carpinus laxiflora</i>	Vasaitis R. et al. [15]
		EU840623	<i>Abies holophylla</i>	
	OM809760	–	Lee S.H. [14]	
Япония: Кумамото Japan: Kumamoto	AB308178	Hardwood	Ota Y., Hattori T. [13]	
<i>L. sulphureus</i>	Россия, Санкт-Петербург Russia, Saint-Petersburg	MH027636	–	Shnyreva A.V., Shnyreva A.A. [14]
	Россия, Тува Russia, Tuva	KF932732	<i>Larix</i>	Shnyreva A.V et al. [14]
	Россия, Брянская обл. Russia, Bryansk Region	OL764368	<i>Betula pendula</i>	Shakhova N.V., Volobuev S.V. [14]
		OL764367	<i>Quercus robur</i>	
	Россия, Московская обл. Russia, Moscow Region	MT795849	<i>Oak wood</i>	Kurakov A.V. [14]
		MT795836	Hardwood	
		MT795835	Hardwood	
	Россия: Республика Татарстан Russia: Republic of Tatarstan	MG734830	On fallen rotten trunk of oak	Kolker T.L. et al. [14]
	Чехия / Czech	LN714561	–	Vetrovsky T. et al. [14]
	Хорватия / Croatia	MK169234	–	Mesic A. et al. [16]
Чехия / Czech	MK098495	<i>Robinia</i> sp.	Kout J. et al. [14]	
Польша / Poland	MH321898	–	Mazur I. et al. [14]	
<i>L. conifericola</i>	Канада / Canada	KX065948	–	Maynard D.S. et al. [14]
	США / USA	AB472631	–	Ota Y., Hattori T. [13]
	США / USA	EU402578	<i>Pinus contorta</i>	Lindner D.L., Banik M.T. [17]
	США / USA	EU402577	<i>Tsuga heterophylla</i>	

Примечание. Прочерк в таблице обозначает отсутствие информации о типе субстрата выделения в базе данных.
Note. A dash in the table indicates the absence of information about the type of extraction substrate in the database.

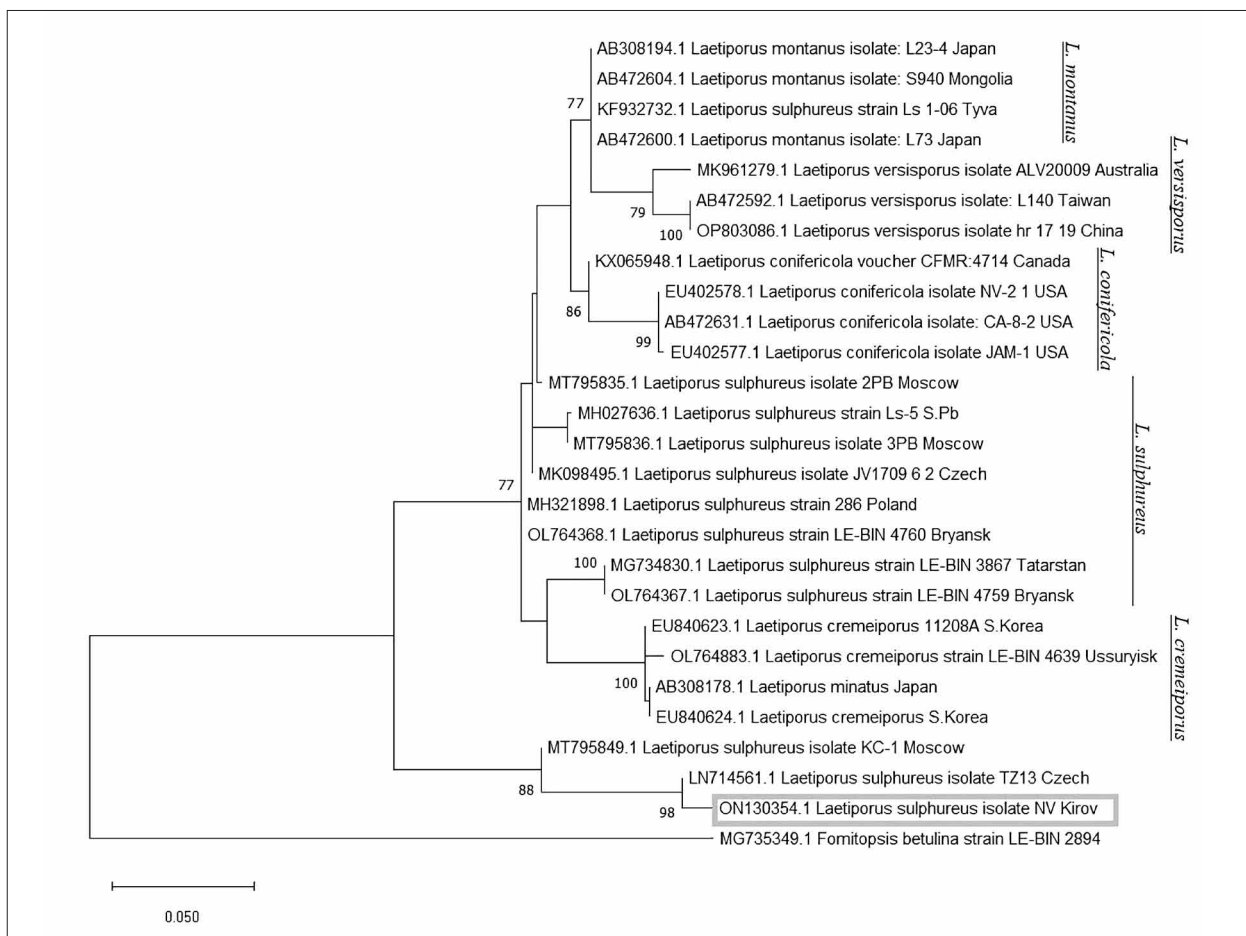


Рис. 5. Филогенетическое дерево для последовательностей ITS, депонированных в GenBank, построенное методом максимального правдоподобия
Fig. 5. Phylogenetic tree for ITS sequences deposited in GenBank constructed by the maximum likelihood method

Таблица 2 / Table 2

Результаты сравнения ITS последовательности обнаруженного образца *Laetiporus sulphureus* (ON130354) с данными международной базы GenBank (с использованием программы BLAST)
 Comparison results of the ITS sequence of the detected *Laetiporus sulphureus* (ON130354) specimen with the data of the international GenBank database (using the BLAST)

GenBank ID	Название таксона Taxon name	Сравниваемая часть сиквенса, % Query cover, %	Сходство сиквенсов, % Percent identity	Длина сиквенса, пар нуклеотидов Accession lenght, pairs of nucleotides	Место нахождения образца Sample location
<i>Laetiporus sulphureus</i> ON130354, длина сиквенса 480 пар нуклеотидов, Россия: Киров <i>Laetiporus sulphureus</i> ON130354, sequence length 480 bp, Russia: Kirov					
LN714561	<i>Laetiporus sulphureus</i>	91	99,45	641	Чехия / Czech
MK169234		93	98,67	589	Хорватия / Croatia
MK098495		93	98,67	564	Чехия / Czech
MH321898		93	98,67	606	Польша / Canada
KX065948	<i>Laetiporus conifericola</i>	90	98,61	482	Канада / Canada
AB472631		90	98,61	529	США / USA
EU402578		90	98,61	560	
EU402577		90	98,61	560	

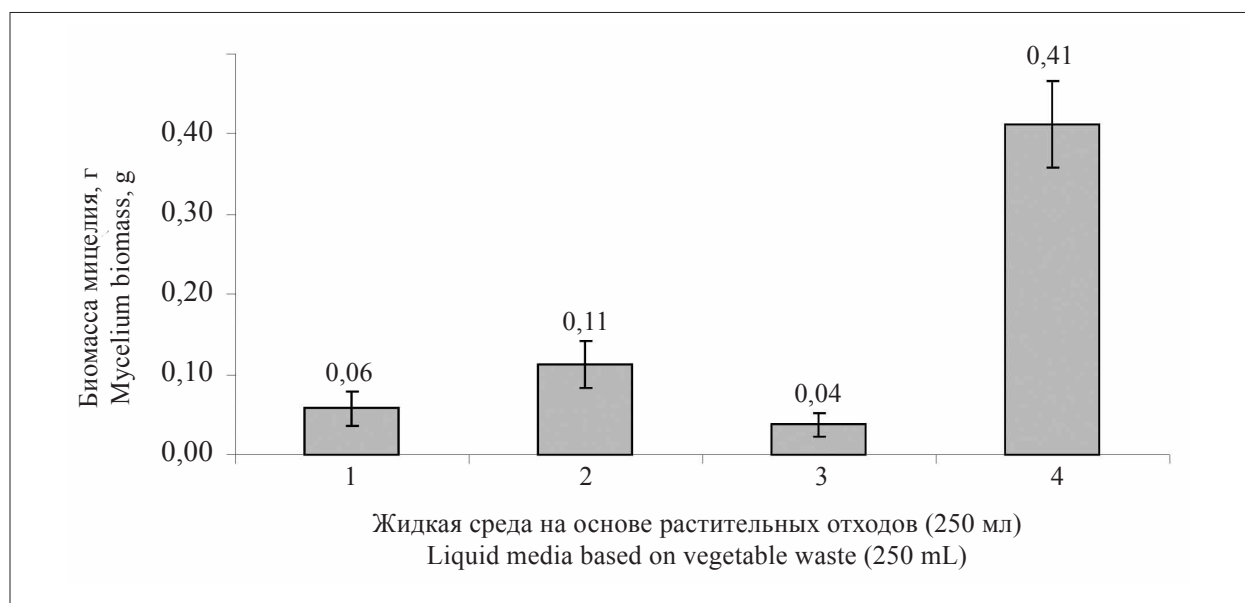


Рис. 6. Величина биомассы сухого мицелия изолята *L. sulphureus* NV на различных жидких питательных средах объёмом 250 мл на 20 сутки культивирования: 1 – капустная среда с молочной сывороткой, 2 – капустная среда № 19, 3 – модифицированная капустная среда с триптофаном, 4 – ячменная среда
Fig. 6. The biomass value of dry mycelium of *L. sulphureus* NV isolate on various liquid nutrient media with a volume of 250 mL on the 20th day of cultivation: 1 – Cabbage medium with milk whey, 2 – Cabbage medium No. 19, 3 – Modified cabbage medium with tryptophan, 4 – Barley medium

разуется. Пores жёлтого цвета. Окраска плодовых тел сначала лимонно-жёлтая, затем – белая, часто с коричневым оттенком [13]. Виды *L. versisporus* составляют отдельную кладу (bootstrap-значение 79) (рис. 5).

Вид *L. cremeiporus* морфологически отличается от *L. versisporus* белым цветом поверхности пор. Вид образует отдельную кладу (bootstrap-значение 100). Кроме образцов из Японии и Китая, в кладу входит и образец, выделенный на Горнотаёжной станции им. В.Л. Комарова (OL764883) в 2021 г., что свидетельствует о присутствии вида на территории России (рис. 5).

Анализ полученной ITS-последовательности для нашего образца *L. sulphureus* (GenBank ID ON130354), проведённый с помощью алгоритма Blast, показал его сходство на 99,45% с образцом *Laetiporus sulphureus* с территории Чехии (табл. 2, рис. 5).

Изолят трутовика серно-жёлтого проявил высокую антимикробную активность по отношению к 4 из 5 бактериальным тест-культурам. Гриб одинаково хорошо ингибировал рост как грамположительных бактерий *A. humicola* 30H (зоны подавления роста от 20 до 35 мм), так и граммотрицательных видов *P. agri* 85Td, *P. seracia* 5809, *E. rhapontici* ДАГ1-1 (зоны подавления роста от 20 до 25 мм). Однако к условно-патогенному штамму *E. americana*

66МТ данный изолят *L. sulphureus* не проявил антагонистической активности.

Благодаря вкусовым и лекарственным свойствам трутовик серно-жёлтый активно используется в восточной медицине в качестве общеукрепляющего средства. Кроме того, есть сведения об употреблении гриба при онкологии молочной и предстательной желёз [18].

Современные исследования подтверждают высокую лекарственную и пищевую ценность *L. sulphureus*. Так, гриб является перспективным биологическим агентом в производстве белка, незаменимых аминокислот, ненасыщенных жирных кислот, каротиноподобных соединений и полисахаридов [12].

Высокая липидсинтезирующая способность некоторых штаммов *L. sulphureus* достигает 24% сухого веса мицелия, что выводит этот вид гриба в лидеры по синтезу липидов среди культивируемых базидиальных грибов [19–22]. Анализ жирнокислотного состава липидов трутовика серно-жёлтого показал преобладание в них эссенциальных ненасыщенных жирных кислот, сумма которых составила 83–88%. Количество линолевой кислоты достигало 57–77% [23].

Из плодовых тел *L. sulphureus* выделены и охарактеризованы два новых полисахарида: латипоран А (разветвлённый

β -(1→3)-галактоманноглюкан) и латиглюкан I (линейный β -(1→3)-гомоглюкан) [24]. Фармакологически эти грибные соединения классифицируют как модификаторы биологических ответов (BRM, biological response modifiers), которые обладают антиопухоловой активностью, связанной с активацией иммунной системы хозяина [25].

Исследование токсических свойств водных и спиртовых экстрактов *L. sulphureus* проведено отечественными учёными. Экстракты из биомассы мицелия получали путём смешивания дистиллированной воды и измельчённой биомассы при 60 °C на качалке в режиме 120 об./мин в течение пяти часов. Соотношение образца к экстрагенту составляло 1 : 30. Спиртовые экстракты были получены экстрагированием образца 96%-м этанолом с соотношением образца к экстрагенту – 1 : 10. В качестве тест-организмов использовали простейших (*Paramecium caudatum* и *Tetrahymena pyriformis*) – при спиртовой экстракции и белых крыс линии Wistar – при водной экстракции. В результате ни в одном из случаев токсических эффектов зарегистрировано не было [26].

В результате проведённого жидкофазного культивирования изолята *L. sulphureus* NV на различных жидких питательных средах с использованием магнитной мешалки было установлено, что наибольшее накопление АСБ на 20 сут культивирования наблюдается на жидкой среде на основе отвара ячменной лузги с добавлением 2% глюкозы (0,41 г в 250 мл среды) (рис. 6).

Полученные сведения согласуются с имеющимися данными по накоплению биомассы *L. sulphureus* при культивировании на жидкой капустной среде – от 1,9 г/л АСБ до 3,6 г/л АСБ на 30 сут культивирования [12].

Заключение

Биомасса и культуральная жидкость некоторых ксилотрофных базидиомицетов представляет значительный потенциал в разработке новых регуляторов роста растений. Так, способность базидиальных грибов сорбировать тяжёлые металлы, обладающие цитотоксическим действием на растения, может быть использована в разработке биопрепаратов, обладающих адаптогенным и протекторным действием [27, 28]. Биологически активные компоненты культуральной жидкости и биомассы *L. sulphureus* (эссенциальные жирные кислоты, витамины, липиды, полисахариды)

являются перспективным объектом для более детальных исследований.

Подбор питательных сред на основе растительных сельскохозяйственных отходов в дальнейшем позволит снизить производственные затраты, сохраняя значительный биотехнологический потенциал культивируемой биомассы *L. sulphureus*.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № FNWE-2022-0008 «Разработка новых биотехнологических методов создания перспективных генотипов сельскохозяйственных культур со стабильной продуктивностью, толерантных к эдафическим стрессорам, получение нового исходного материала регенератного происхождения для селекции адаптивных сортов растений», номер государственной регистрации в ЕГИСУ № 123011900027-2.

Литература

1. Khatua S., Ghosh S., Acharya K. *Laetiporus sulphureus* (Bull.: Fr.) Murr. as food as medicine // Pharmacognosy Journal. 2017. V. 9. No. 6. P. 1–15.
2. Alquini G., Carbonero E.R., Rosado F.R., Cosentino C., Iacomini M. Polysaccharides from the fruit bodies of the basidiomycete *Laetiporus sulphureus* (Bull.: Fr.) Murr // FEMS Microbiology Letters. 2004. V. 230. No. 1. P. 47–52.
3. Hettich U., Sieber T.N., Holdenrieder O. Interaction between *Heterobasidion parviporum* and *Laetiporus sulphureus* // Root and butt rots of forest trees: 12 International Conference on Root and Butt Rots the University of California. Berkeley, 2008. P. 226–228.
4. Hood I.A. An introduction to fungi on wood in Queensland // Botany. School of Environmental Sciences and Natural Resources Management, University of New England: Armidale, NSW, 2003. 388 p.
5. Ставищенко И.В., Веселовская А.В. Афиллофоровые грибы заповедника «Нургуш» (Кировская область) // Микология и фитопатология. 2011. Т. 45. № 3. С. 260–270.
6. Ставищенко И.В., Лугинина Е.А. Афиллофоридные грибы государственного природного заказника «Былина» (Кировская область) // Микология и фитопатология. 2015. Т. 49. № 1. С. 41–49.
7. Попьянов Д.В., Широких А.А. Видовой состав и способность агарикомицетов к аккумуляции тяжёлых металлов в условиях урбозооэкосистемы // Микология и фитопатология. 2021. Т. 55. № 2. С. 138–147.
8. Теплякова Т.В., Косонова Т.А. Высшие грибы Западной Сибири – перспективные объекты для биотехнологии лекарственных препаратов. Новосибирск, 2014. 299 с.
9. Kumar S., Stecher G., Li M., Knyaz C., Tamura K. MEGA X: molecular evolutionary genetics analysis across

computing platforms // *Molecular Biology and Evolution*. 2018. V. 35. No. 6. P. 1547–1549.

10. 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. No. 3. P. 512–526.

11. Возняковская Ю.М. Микрофлора растений и урожая. Л.: Колос, 1966. 240 с.

12. Громовых Т.И., Иванова И.Е., Торкова А.А. Культивирование мицелия штаммов *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill для получения кормовой добавки // *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2012. № 6. С. 53–55.

13. Ota Y., Hattori T., Banik M.T., Hagedorn G., Sotome K., Tokuda S., Abe Y. The genus *Laetiporus* (Basidiomycota, Polyporales) in East Asia // *Mycological Research*. 2009. V. 113. No. 11. P. 1283–1300.

14. The National Center for Biotechnology Information [Электронный ресурс] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/> (Дата обращения: 20.02.2023).

15. Vasaitis R., Menkis A., Lim Y.W., Seok S., Tomsovsky M., Jankovsky L., Stenlid J. Genetic variation and relationships in *Laetiporus sulphureus* s. lat., as determined by ITS rDNA sequences and *in vitro* growth rate // *Mycological Research*. 2009. V. 113. No. 3. P. 326–336.

16. Mesic A., Samec D., Jadan M., Bahun V., Tkalcic Z. Integrated morphological with molecular identification and bioactive compounds of 23 Croatian wild mushrooms samples // *Food Bioscience*. 2020. V. 37. Article No. 100720.

17. Lindner D.L., Banik M.T. Molecular phylogeny of *Laetiporus* and other brown rot polypore genera in North America // *Mycologia*. 2008. V. 100. No. 3. P. 417–430.

18. Переведенцева Л.Г. Лекарственные грибы Пермского края. Пермь: Проектное бюро «Рейкьявик», 2014. 144 с.

19. Уфимцева О.В., Миронов П.В. Получение биомассы мицелия грибов вешенки обыкновенной P 05/88 *Pleurotus ostreatus* и серно-жёлтого трутовика LS 1-06 *Laetiporus sulphureus* в глубоинных условиях // *Хвойные бореальной зоны*. 2009. Т. 26. № 2. С. 294–296.

20. Иванов А.И. Экологические аспекты развития грибоводства в России // *Теоретическая и прикладная экология*. 2021. № 3. С. 6–12.

21. Широких А.А., Злобина Ю.А., Широких И.Г. Биодegradация растительных отходов и получение плодовых тел при культивировании ежевика гребенчатого (*Hericium erinaceus*) // *Теоретическая и прикладная экология*. 2018. № 3. С. 86–92.

22. Полежаева Т.В., Худяков А.Н., Сергушкина М.И., Широких И.Г., Широких А.А., Безмельцева О.М., Зайцева О.О. Траметоидные трутовики Русской равнины как источник полисахаридов с криопротекторными свойствами // *Теоретическая и прикладная экология*. 2017. № 3. С. 103–109.

23. Бабицкая В.Г., Иконникова Н.В., Пучкова Т.А., Осадчая О.В., Филимонова Т.В. Биохимический состав

композиций функционально-корректирующих препаратов на основе липид- и полисахаридсинтезирующих грибов // *Имунопатология, аллергология, инфектология*. 2010. № 1. С. 237–238.

24. Оленников Д.Н., Агафонова С.В., Боровский Г.Б., Пензина Т.А., Рохин А.В. Водорастворимые эндополисахариды плодовых тел *Laetiporus sulphureus* (Bull.: Fr.) Murr // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2009. Т. 45. № 5. С. 597–605.

25. Шнырева А.В. Иммуномодулирующие свойства полисахаридов высших базидиальных грибов // *Успехи медицинской микологии*. 2004. Т. 3. С. 189–191.

26. Громовых Т.И., Иванова И.Е., Шнырева А.В., Баргесян Г.Г., Данильчук Т.Н., Левин М.А. Исследование токсических свойств штамма LS 1-06 *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill. и оценка перспектив его использования // *Проблемы медицинской микологии*. 2013. Т. 15. № 4. С. 63–69.

27. Бызова М.А., Ермошин А.А., Киселёва И.С. Экстракты трутовых грибов уменьшают цитотоксичность ионов кадмия в *Hordeum*-тесте // *Biomics*. 2022. Т. 14. № 4. С. 310–314.

28. Ermoshin A., Kiseleva I., Sinenko O., Nikkonen I., Novikov V. Fomes fomentarius extract decrease negative impact of cadmium ions in barley seedlings // *Biology and Life Sciences Forum*. 2020. V. 4. No. 1. Article No. 94.

References

1. Khatua S., Ghosh S., Acharya K. *Laetiporus sulphureus* (Bull.: Fr.) Murr. as food as medicine // *Pharmacognosy Journal*. 2017. V. 9. No. 6. P. 1–15. doi: 10.5530/pj.2017.6s.151

2. Alquini G., Carbonero E.R., Rosado F.R., Cosentino C., Iacomini M. Polysaccharides from the fruit bodies of the basidiomycete *Laetiporus sulphureus* (Bull.: Fr.) Murr // *FEMS Microbiology Letters*. 2004. V. 230. No. 1. P. 47–52. doi: 10.1016/S0378-1097(03)00853-X

3. Hettich U., Sieber T.N., Holdenrieder O. Interaction between *Heterobasidion parviporum* and *Laetiporus sulphureus* // *Root and butt rots of forest trees: 12 International Conference on Root and Butt Rots the University of California*. Berkeley, 2008. P. 226–228.

4. Hood I.A. An introduction to fungi on wood in Queensland // *Botany. School of Environmental Sciences and Natural Resources Management, University of New England: Armidale, NSW*, 2003. 388 p.

5. Stavishenko I.V., Veselovskaya A.V. Aphylophoric fungi of the Nurgush Reserve (Kirov Region) // *Mycology and Phytopathology*. 2011. V. 45. No. 3. P. 260–270 (in Russian).

6. Stavishenko I.V., Luginina E.A. Aphylophoroid fungi of the state nature reserve “Bylina” (Kirov Region) // *Mycology and Phytopathology*. 2015. V. 49. No. 1. P. 41–49 (in Russian).

7. Popyvanov D.V., Shirokikh A.A. Species composition and ability of agaricomycetes to accumulate heavy metals in urban ecosystems // *Mycology and Phytopathology*. 2021. V. 55. No. 2. P. 138–147 (in Russian). doi: 10.31857/S0026364821020082
8. Teplyakova T.V., Kosogova T.A. Higher fungi of Western Siberia – promising objects for the biotechnology of drugs. Novosibirsk, 2014. 299 p.
9. Kumar S., Stecher G., Li M., Knyaz C., Tamura K. MEGA X: molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms // *Molecular Biology and Evolution*. 2018. V. 35. No. 6. P. 1547–1549. doi: 10.1093/molbev/msy09
10. 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. No. 3. P. 512–526. doi: 10.1093/oxfordjournals.molbev.a040023
11. Voznyakovskaya Yu.M. Plant microflora and harvest. Leningrad: Kolos, 1966. 240 p. (in Russian).
12. Gromovykh T.I., Ivanova I.E., Torkova A.A. Cultivation of mycelium of *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murill strains for obtaining a feed additive // *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2012. No. 6. P. 53–55 (in Russian).
13. Ota Y., Hattori T., Banik M.T., Hagedorn G., Sotome K., Tokuda S., Abe Y. The genus *Laetiporus* (Basidiomycota, Polyporales) in East Asia // *Mycological Research*. 2009. V. 113. No. 11. P. 1283–1300. doi: 10.1016/j.mycres.2009.08.014
14. The National Center for Biotechnology Information [Internet resource] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/> (Accessed: 20.02.2023).
15. Vasaitis R., Menkis A., Lim Y.W., Seok S., Tomsovsky M., Jankovsky L., Stenlid J. Genetic variation and relationships in *Laetiporus sulphureus* s. lat., as determined by ITS rDNA sequences and *in vitro* growth rate // *Mycological Research*. 2009. V. 113. No. 3. P. 326–336. doi: 10.1016/j.mycres.2008.11.009
16. Mescic A., Samec D., Jadan M., Bahun V., Tkalcec Z. Integrated morphological with molecular identification and bioactive compounds of 23 Croatian wild mushrooms samples // *Food Bioscience*. 2020. V. 37. Article No. 100720. doi: 10.1016/j.fbio.2020.100720
17. Lindner D.L., Banik M.T. Molecular phylogeny of *Laetiporus* and other brown rot polypore genera in North America // *Mycologia*. 2008. V. 100. No. 3. P. 417–430. doi: 10.3852/07-124R2
18. Perevedentseva L.G. Medicinal mushrooms of the Perm Region. Perm: Proektnoe byuro “Reykyavik”, 2011. 144 p. (in Russian).
19. Ufimtseva O.V., Mironov P.V. Obtaining biomass of mycelium of oyster mushroom P 05/88 *Pleurotus ostreatus* and sulfur-yellow tinder fungus LS 1-06 *Laetiporus sulphureus* in deep conditions // *Conifers of the Boreal Zone*. 2009. V. 26. No. 2. P. 294–296 (in Russian).
20. Ivanov A.I. Ecological aspects of mushroom growing development in Russia // *Theoretical and Applied Ecology*. 2021. No. 3. P. 6–12 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2021-3-006-012
21. Shirokikh A.A., Zlobina Yu.A., Shirokikh I.G. Biodegradation of plant waste and the production of fruit bodies during the cultivation of the lion’s mane mushroom (*Hericium erinaceus*) // *Theoretical and Applied Ecology*. 2018. No. 3. P. 86–92 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2018-3-086-092
22. Polezhaeva T.V., Khudyakov A.N., Sergushkina M.I., Shirokikh I.G., Shirokikh A.A., Bezmeltseva O.M., Zaytseva O.O. Trametoid tinder of the Russian Plain as a source of polysaccharides with cryoprotective properties // *Theoretical and Applied Ecology*. 2017. No. 3. P. 103–109 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2017-3-103-109
23. Babitskaya V.G., Ikonnikova N.V., Puchkova T.A., Osadchaya O.V., Filimonova T.V. Biochemical compositions of functional-correcting preparations on the basis of lipid- and polysaccharide-synthesizing fungi // *Immunopathology, Allergology, Infectology*. 2010. No. 1. P. 237–238 (in Russian).
24. Olennikov D.N., Agafonova S.V., Borovskiy G.B., Penzina T.A., Rokhin A.V. Water-soluble endopolysaccharides of the fruiting bodies of *Laetiporus sulphureus* (Bull.: Fr.) Murr // *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2009. V. 45. No. 5. P. 597–605 (in Russian).
25. Shnyreva A.V. Immunomodulatory properties of polysaccharides of higher basidiomycetes // *Advances in Medical Mycology*. 2004. V. 3. P. 189–191 (in Russian).
26. Gromovykh T.I., Ivanova I.E., Shnyreva A.V., Bargesyan G.G., Danilchuk T.N., Levin M.A. Study of the toxic properties of the strain LS 1-06 *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill. and assessment of the prospects for its use // *Problems of Medical Mycology*. 2013. V. 15. No. 4. P. 63–69 (in Russian).
27. Byzova M.A., Ermoshin A.A., Kiseleva I.S. Polypore fungus extracts reduce the cytotoxicity of cadmium ions in the Hordeum-test // *Biomics*. 2022. V. 14. No. 4. P. 310–314. doi: 10.31301/2221-6197.bmcs.2022-30
28. Ermoshin A., Kiseleva I., Sinenko O., Nikkonen I., Novikov V. Fomes fomentarius extract decrease negative impact of cadmium ions in barley seedlings // *Biology and Life Sciences Forum*. 2020. V. 4. No. 1. Article No. 94. doi: 10.3390/IECPS2020-08746