

Накопление свинца, меди и цинка базидиомицетами разных эколого-трофических групп в парках г. Кирова

© 2016. Д. В. Попыванов¹, аспирант, А. А. Широких^{1,2}, д.б.н., профессор,

¹Вятский государственный университет,

610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36,

²Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства

Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого,

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

e-mail: 1fast@mail.ru

На территории парков и скверов в различных районах города было собрано и проанализировано 94 образца базидиальных грибов, относящихся к 24 видам, 14 семействам и 4 порядкам (Polyporales, Agaricales, Russulales, Boletales). Представлены данные по содержанию Cu, Pb, Zn в плодовых телах представителей базидиомицетов разных эколого-трофических групп. Установлено, что между представителями различных эколого-трофических групп наиболее выражены различия в способности аккумулировать медь. Отмечена также достоверная разница между содержанием цинка в базидиомах различных эколого-трофических групп. Способность грибов накапливать Zn снижалась в ряду: микоризообразующие базидиомицеты – сапротрофы – ксилотрофы. Максимальными концентрациями меди характеризовались плодовые тела сапротрофных видов *Clitocybe nebularis* (84,7 мкг/г) и *Agaricus campestris* (42,9 мкг/г), цинка – микоризообразующие виды *Tricholoma terreum* (253,6 мкг/г) и *Cortinarius torvus* (236,7 мкг/г), свинца – ксилотрофный вид *T. gibbosa* (5,4 мкг/г). Большинство исследованных видов грибов вообще не накапливали в плодовых телах свинец или накапливали его в незначительных количествах (менее 0,03 мкг/г). По суммарному накоплению ТМ в плодовых телах лидировали представители симбиотрофных микоризообразующих грибов (в среднем 230 мкг/г), существенно уступали им сапротрофные виды (187 мкг/г) и ксилотрофы (117,5 мкг/г). Полученные результаты представляют интерес для развития методов биоиндикации загрязнения ТМ городской среды.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, базидиомицеты, ксилотрофы, микоризообразователи, сапротрофы.

Accumulation of lead, copper, and zinc by Basidiomycetes of different ecological trophic groups in the parks of Kirov

D. V. Popyvanov¹, A. A. Shirokikh²,

¹Vyatka State University,

36 Moskovskaya st., Kirov, Russia, 610000,

²N. V. Rudnitski Zonal North-East Agricultural Research Institute,

166a Lenin st., Kirov, Russia, 610007,

e-mail: 1fast@mail.ru

94 samples related to 24 species of *Basidiomycetes* were collected on the territory of parks and gardens in various parts of the city. All the samples which belong to 14 families, 4 orders (Polyporales, Agaricales, Russulales, Boletales) were analyzed as for content of heavy metals (HM). The article contain data about concentration of Cu, Pb, Zn in fruit bodies of different species related to different ecological trophic groups (saprotrophs, xylophilic and mycorrhizal macromycetes). It was stated that the most pronounced differences between different ecological trophic groups are in their ability to accumulate copper. Significant difference in the content of zinc in bodies of *Basidiomycetes* of different ecological trophic groups was stated. The ability to accumulate Zn can be arranged in order of descending: mycorrhizal macromycetes – saprotrophic – xylophilic macromycetes. The maximum concentration of copper was characteristic of the fruit bodies of the species *Clitocybe nebularis* (84.7 µg/g) and *Agaricus campestris* (42.9 µg/g) belonging to the saprotrophic group, the maximum concentration of zinc was characteristic of the of the fruit bodies of the mycorrhizal macromycetes species *Tricholoma terreum* (253.6 µg/g) and *Cortinarius torvus* (236.7 µg/g), and the maximum concentration of lead was characteristic of xylophilic macromycetes *T. gibbosa* (5.4 µg/g). Most of the fungi species studied did not accumulate Pb in their fruit bodies, or accumulated it in small amounts (up to 0.03 µg/g). The representatives of mycorrhizal fungi (on the average 230 µg/g) accumulated HM in the fruit bodies most of all, saprotrophic group (187 µg/g) and xylophilic (117.5 µg/g) accumulated significantly less HM. The results obtained are of interest for the development of bio-indication of urban environment pollution with HM.

Keywords: heavy metals, basidiomycetes, xylophilic macromycetes, mycorrhizal macromycetes, saprotrophic macromycetes.

Одной из важнейших экологических проблем г. Кирова является загрязнение атмосферного воздуха от стационарных промышленных и передвижных источников загрязнения. Особенно значителен вклад в загрязнение городской среды таких промышленных технологий, как металлообработка, шинная промышленность, целлюлозно-бумажное, химическое и лесохимическое производства. С точки зрения воздействия на окружающую среду около 3000 предприятий г. Кирова и Кировской области отнесены к опасным объектам, из них особо опасными являются 54 металлообрабатывающих предприятия, которые расположены в основном в гг. Кирове и Кирово-Чепецке, а также в 13 районах области. Важным фактором антропогенного воздействия на природные среды и объекты г. Кирова является трансграничный перенос загрязнителей с соседних территорий [1]. К числу основных загрязнителей окружающей среды относятся соединения тяжёлых металлов (ТМ), источниками которых являются автотранспорт, сжигание органического топлива и отходов, химическая промышленность, гальваника и др. Только в г. Кирове 17 предприятий имеют гальванические цеха с линиями цинкования, кадмирования, никелирования, хромирования, меднения и др. [1].

Накопление различных химических элементов-загрязнителей из почвы и атмосферы, в том числе и ТМ, в концентрациях значительно более высоких, чем в окружающей среде, происходит в плодовых телах ряда базидиальных грибов [2]. Описано накопление свинца и мышьяка плодовыми телами дикорастущих грибов в условиях Пензенской области [3]. В базидиомах трутовика чешуйчатого (*Polyporus squamosus*), собранного в пределах г. Кирова, выявлены концентрации Cu, Zn и Pb, составившие соответственно 24,6; 23,3 и 21,6 мкг/г [4]. Приводятся сведения о накоплении ТМ различными видами грибов в национальном парке «Плещеево озеро», расположенном на территории Ярославской области [5]. Проведённые исследования показывают, что разные виды грибов имеют свою специфику в накоплении ТМ, которая определяется биологическими особенностями видов грибов и условиями их произрастания [2, 3, 6].

Несмотря на большое количество работ по данной теме, до сих пор не выделены виды грибов, которые могли бы служить универсальным биоиндикатором загрязнения местности ТМ, не совсем ясны физиологические особенности аккумуляции металлов плодовыми телами

отдельных видов базидиомицетов. В связи с этим целью нашей работы являлась оценка способности представителей разных экологических групп базидиальных грибов к аккумуляции ТМ в условиях городской среды.

Материалы и методы

Сбор плодовых тел грибов для исследований осуществляли во второй-третьей декадах сентября 2015 г. в парках и скверах города: Александровский сад, парк Победы, парк им. С.М. Кирова, парк им. Ю. А. Гагарина, сквер завода «Искож».

Для сравнения были использованы образцы грибов, собранные на территории лесного массива вблизи п. Порошино на противоположном берегу р. Вятки (на расстоянии 15 км от города). Идентификация грибов была выполнена в соответствии с определителями [7–9]. Названия видов грибов приведены в соответствии с базой данных международного проекта Index Fungorum (<http://www.indexfungorum.org>).

Отобранные пробы грибов измельчали, затем высушивали при температуре 105°C и тщательно размалывали до однородной массы. Валовое содержание меди (Cu), цинка (Zn), свинца (Pb) в плодовых телах базидиомицетов определяли на атомно-абсорбционном спектрометре Shimadzu-AA-6800 после озоления их биомассы в муфельной печи при 600°C в течение 6 ч с последующим растворением зольного остатка в 10 мл 1 М HCl [10].

В экотопах, где был проведён сбор плодовых тел грибов, отбирали образцы почв с глубины 0–5 см. Содержание подвижных форм Cu, Zn, Pb в почвах определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии, предварительно экстрагируя воздушно-сухие почвенные образцы аммонийно-ацетатным буфером (pH 4,8) [11].

О способности грибов к биосорбции изучаемых элементов судили по коэффициенту накопления, рассчитываемому как отношение концентраций элемента в биомассе гриба и в слое почвы 0–5 см.

Полученные данные обрабатывали стандартными методами статистического анализа с использованием пакета программ Excel.

Результаты и обсуждение

Базидиальная микобиота городских парков и скверов в период проведения исследований была представлена древоразрушающими (кси-

Таблица 1

Таксономический состав образцов базидиальных макромицетов, выявленных в парках г. Кирова

ПОРЯДКИ Семейства	Перечень видов
POLYPORALES	
<i>Meripilaceae</i>	<i>Meripilus giganteus</i> <i>Bjerkandera adusta</i>
<i>Polyporaceae</i>	<i>Trametes gibbosa</i> <i>T. hirsute</i> <i>T. versicolor</i>
	<i>Fomes fomentarius</i>
<i>Fomitopsidaceae</i>	<i>Tyromyces stipticus</i>
<i>Ganodermataceae</i>	<i>Ganoderma applanatum</i>
AGARICALES	
<i>Strophariaceae</i>	<i>Hebeloma crustuliniforme</i> <i>H. mesophaeum</i>
<i>Tricholomataceae</i>	<i>Tricholoma terreum</i> <i>Clitocybe nebularis</i> <i>C. dealbata</i> <i>Collybia dryophila</i> <i>C. fusipes</i>
<i>Mycenaceae</i>	<i>Panellus serotinus</i>
<i>Inocybaceae</i>	<i>Inocybe griseolilacina</i>
<i>Agaricaceae</i>	<i>Agaricus campestris</i> <i>Coprinus niveus</i>
<i>Pluteaceae</i>	<i>Pluteus cervinus</i>
<i>Cortinariaceae</i>	<i>Cortinarius torvus</i>
RUSSUALES	
<i>Bondarzewiaceae</i>	<i>Heterobasidion annosum</i>
<i>Russulaceae</i>	<i>Russula rosea</i>
BOLETALES	
<i>Sclerodermataceae</i>	<i>Scleroderma verrucosum</i>

лотрофными) видами, напочвенными сапротрофами и симбиотрофными грибами-микоризообразователями, тогда как на территории загородного лесного массива были обнаружены лишь два вида сапротрофов. Анализ таксономической структуры базидиомицетов, выявленных на территории города Кирова на данном этапе исследований, показал, что они относятся к 4 порядкам, 14 семействам и 24 видам (табл. 1).

Анализ распределения грибов по экотопам показал, что наибольшим видовым разнообразием отличаются парк Победы (11 видов) и парк им. С.М. Кирова (9 видов) (табл. 2).

Сопоставление этих данных с результатами определения ТМ в почвах парков показало, что суммарное содержание Zn+Cu+Pb именно в этих экотопах меньше (6,1 и 9,1 мкг/г), чем в почвах трёх других парковых экотопов (до

25,5 мкг/г). А содержание свинца и меди в почвах парка Победы и парка им. С. М. Кирова, как и в почве фоновой территории (лес в Порошино), характеризовалось значениями менее 0,05 мкг/г (табл. 3).

Если в парках Победы и С. М. Кирова доля ксилотрофных грибов в общем количестве выявленных видов была приблизительно одинаковой (33–36%), то в значительно более старовозрастных насаждениях Александровского сада преобладали ксилотрофные виды (63%) базидиомицетов. Почвы Александровского сада, парка им. Ю. А. Гагарина и сквера завода «Искож» характеризовались более выраженным загрязнением ТМ, чем почвы фоновой территории и других парков в черте города. Выявленные на их территории грибы относились большей частью к ксилотрофной микобиоте и были представлены незначительным, за исключением Александровского сада (8 видов), количеством видов. Доля микоризообразующих грибов изменялась в исследованных биотопах от 11% в парке С. М. Кирова до 25% в микобиоте Александровского сада. В парке им. Ю. А. Гагарина и сквере завода «Искож», как и в загородном лесу, близ п. Порошино, плодовые тела грибов-микоризообразователей в период проведения исследований не обнаружены.

Анализ содержания ТМ в плодовых телах грибов показал, что уровень накопления отдельных элементов определялся, в первую очередь, природой самого химического элемента: медь (до 84,7 мкг/г) и цинк (до 253,6 мкг/г) накапливались в большем количестве, чем свинец (до 5,4 мкг/г) (табл. 4–6).

Аналогичные данные были получены нами для ксилотрофных грибов г. Кирова ранее [12], а также при исследовании распределения элементов-загрязнителей в сосновых биогеоценозах Смоленской и Брянской областей [6]. Более интенсивное, по сравнению со свинцом, накопление ксилотрофными базидиомицетами меди и цинка может объясняться тем, что эти элементы входят в состав некоторых ферментов и участвуют в клеточном метаболизме. Отмечена достоверная разница между содержанием цинка в базидиомах грибов различных эколого-трофических групп. Содержание цинка убывало в ряду: микоризообразующие макромицеты (217,7 мкг/г) – сапротрофы (136,7 мкг/г) – ксилотрофы (109,8 мкг/г), а содержание меди снижалось в ряду: сапротрофы (50,2 мкг/г) – микоризообразующие макромицеты (13,1 мкг/г) – ксилотрофы (7,15 мкг/г).

Таблица 2

Распределение видов грибов по экотопам

Виды грибов	Александровский сад	Парк Победы	Парк им. С.М. Кирова	Парк им. Ю.А. Гагарина	Сквер завода «Искож»	Лес в Порошино
Ксилотрофы						
<i>Meripilus giganteus</i>					+	
<i>Bjerkandera adusta</i>	+	+		+		
<i>Trametes gibbosa</i>		+	+	+		
<i>Tyromyces stipiticus</i>			+			
<i>Ganoderma applanatum</i>			+			
<i>Trametes hirsuta</i>	+	+				
<i>Trametes versicolor</i>		+				
<i>Panellus serotinus</i>	+					
<i>Heterobasidion annosum</i>	+					
<i>Fomes fomentarius</i>	+					
Сапротрофы						
<i>Clitocybe nebularis</i>						+
<i>Clitocybe dealbata</i>		+	+			
<i>Collybia dryophila</i>			+			+
<i>Inocybe griseolilacina</i>			+			
<i>Agaricus campestris</i>			+			
<i>Pluteus cervinus</i>		+	+			
<i>Coprinus niveus</i>	+	+				
<i>Russula rosea</i>		+				
<i>Collybia fusipes</i>		+				
Микоризообразователи						
<i>Hebeloma crustuliniforme</i>			+		+	
<i>Triholoma terreum</i>		+				
<i>Scleroderma verrucosum</i>		+				
<i>Cortinarius torvus</i>	+					
<i>Hebeloma mesophaeum</i>	+					
Всего видов	8	11	9	2	2	2

Таблица 3

Содержание тяжёлых металлов в образцах почв исследуемых экотопов

Экотоп	Подвижные формы, мкг/г			
	Cu	Pb	Zn	Сумма (Zn+Cu+Pb)
Парк Победы	<0,05	<0,05	9,1±1,6	9,1
Сквер завода «Искож»	0,10±0,05	10,9±2,1	14,50±0,12	25,5
Александровский сад	<0,05	1,4±0,4	16,4±2,0	17,8
Парк им. Ю.А. Гагарина	<0,05	0,20±0,09	8,7±1,3	8,9
Парк им. С.М. Кирова	<0,05	<0,05	6,1±1,4	6,1
Лес в Порошино	<0,05	<0,05	4,8±2,1	4,8

Таблица 4

Накопление ТМ в плодовых телах ксилотрофных грибов

Виды грибов	Содержание элементов, мкг/г воздушно-сухой массы			Коэффициент накопления		
	Cu	Pb	Zn	Cu	Pb	Zn
<i>Meripilus giganteus</i>	1,3	<0,03	187,8	8,9	–	12,9
* <i>Bjerkandera adusta</i>	7,3	0,07	107,9	7,3	–	15,5

Окончание таблицы 4

Виды грибов	Содержание элементов, мкг/г воздушно-сухой массы			Коэффициент накопления		
	Cu	Pb	Zn	Cu	Pb	Zn
* <i>Trametes gibbosa</i>	12,0	5,4	70,5	12,0	2,7	9,3
<i>Tyromyces stipticus</i>	2,9	<0,03	136,9	3,0	–	22,5
<i>Ganoderma applanatum</i>	30,4	0,03	74,3	30,4	–	12,2
* <i>Trametes hirsuta</i>	5,6	<0,03	57,2	5,6	–	5,3
<i>Trametes versicolor</i>	2,5	<0,03	62,8	2,5	–	6,9
<i>Punellus serotinus</i>	4,3	<0,03	142,1	4,3	–	8,6
<i>Heterobasidion annosum</i>	1,7	<0,03	101,3	1,7	–	6,2
<i>Fomes fomentarius</i>	3,5	<0,03	157,4	3,5	–	9,6
В среднем:	7,15	0,6	109,8	7,9	0,3	19,8

Примечание. * Представлены средние результаты для 2–3 образцов; прочерк обозначает, что коэффициент накопления рассчитать невозможно, т. к. содержание элемента в грибах ниже предела обнаружения метода.

Таблица 5

Накопление ТМ в плодовых телах сапротрофных базидиомицетов

Виды грибов	Содержание элементов, мкг/г воздушно-сухой массы			Коэффициент накопления		
	Cu	Pb	Zn	Cu	Pb	Zn
<i>Clitocybe nebularis</i>	84,7	0,73	113,8	84,7	0,73	23,5
* <i>Collybia dryophila</i>	30,7	<0,03	144	30,7	–	27,5
* <i>Clitocybe dealbata</i>	9,4	<0,03	194,8	9,4	–	22,2
<i>Inocybe griseolilacina</i>	30,6	3,2	132,8	30,6	3,2	21,8
<i>Agaricus campestris</i>	43,0	0,9	201,5	42,9	0,9	33,1
* <i>Pluteus cervinus</i>	14,9	4,8	114,2	14,9	4,8	16,1
* <i>Coprinus niveus</i>	29,9	<0,03	94,1	29,9	–	7,6
<i>Russula rosea</i>	14,5	<0,03	114,9	14,5	–	12,6
<i>Collybia fusipes</i>	18,4	<0,03	120,5	18,4	–	13,3
В среднем:	50,2	0,76	136,7	30,7	1,2	19,7

Примечание. * Представлены средние результаты для 2–3 образцов; прочерк обозначает, что коэффициент накопления ассчитать невозможно, т. к. содержание элемента в грибах ниже предела обнаружения метода.

Таблица 6

Накопление ТМ в плодовых телах микоризообразующих базидиомицетов

Виды грибов	Содержание элементов, мкг/г воздушно-сухой массы			Коэффициенты накопления		
	Cu	Pb	Zn	Cu	Pb	Zn
* <i>Hebeloma crustuliniforme</i>	33,3	<0,03	225,3	62,8	–	27,7
<i>Tricholoma terreum</i>	23,6	<0,03	253,6	23,6	–	27,9
<i>Scleroderma verrucosum</i>	<0,03	<0,03	179,6	–	–	19,7
<i>Cortinarius torvus</i>	13,9	0,92	236,7	13,9	0,65	14,4
<i>Hebeloma mesophaeum</i>	6,7	0,03	193,4	6,7	0,02	11,8
В среднем:	13,1	0,2	217,7	21,4	0,1	20,3

Примечание. * Представлены средние результаты для 2 образцов; прочерк обозначает, что коэффициент накопления рассчитать невозможно, так как содержание элемента в грибах ниже предела обнаружения метода.

Концентрация химических элементов в базидиомах зависела также от биологических особенностей видов. Так, максимальными концентрациями меди характеризовались плодовые тела сапротрофных видов *Clitocybe nebularis* (84,7 мкг/г) и *Agaricus campestris* (42,9 мкг/г), цинка — микоризообразующие виды *Tricholoma terreum* (253,6 мкг/г)

и *Cortinarius torvus* (236,7 мкг/г), свинца — ксилотрофный вид *Trametes gibbosa* (5,4 мкг/г). Большинство исследованных видов грибов (от 55% среди сапротрофов до 80% среди ксилотрофов) вообще не накапливали в плодовых телах свинец или накапливали его в незначительных количествах (менее 0,03 мкг/г).

Расчёт коэффициентов накопления ТМ в плодовых телах показал, что для каждого элемента они изменялись в определённых пределах, в зависимости от физиологических особенностей грибов и условий их произрастания (табл. 4–6).

Сравнительный анализ средних значений коэффициентов накопления ТМ представителями различных эколого-трофических групп грибов позволил установить, что в наибольшей степени грибы различаются по способности к аккумуляции в плодовых телах меди. Так, коэффициенты накопления этого металла из внешней среды изменялись от 7,9 в базидиомах ксилотрофов (табл. 4) до 30,7 в плодовых телах сапротрофных базидиомицетов (табл. 5). Микоризообразующие виды занимали по способности накапливать медь промежуточное положение, о чём говорит коэффициент накопления, равный 21,4 (табл. 6). В отношении способности аккумулировать в плодовых телах свинец представители различных эколого-трофических групп тоже различались существенно, хотя абсолютные значения коэффициентов накопления свинца были на 1–3 порядка ниже, чем для меди и цинка. Максимальные коэффициенты накопления свинца среди исследованных видов установлены у сапротрофных видов *Pluteus cervinus* (4,8) и *Inocybe griseolilacina* (3,2), тогда как у микоризообразующих (0–0,65) и ксилотрофных (0–2,7) грибов они были в среднем в 4–10 раз меньше. В отношении аккумуляции цинка способность грибов, принадлежащих к различным эколого-трофическим группам, варьировала в меньшей степени, чем в отношении меди и свинца, и средний коэффициент накопления цинка изменялся в узких пределах от 19,7 до 20,3 для различных эколого-трофических групп.

По суммарному накоплению Zn+Cu+Pb в плодовых телах лидировали представители симбиотрофных микоризообразующих грибов (в среднем 230 мкг/г), существенно им уступали сапротрофные виды (187 мкг/г) и ксилотрофы (117,5 мкг/г).

Таким образом, многолетние плодовые тела древоразрушающих грибов накапливают ТМ в меньших количествах, чем однолетние базидиомы наземных видов, поглощающих элементы-загрязнители непосредственно из почвы. Наибольшей аккумуляцией ТМ в плодовых телах отличаются представители группы симбиотрофных микоризообразующих грибов, в частности *Hebeloma crustuliniforme* (258,6 мкг/г) и *Tricholoma terreum* (277,2 мкг/г). Из

литературы известно, что предотвращение проникновения металлов путём изоляции в грибных симбиотических структурах помогает растению избежать интоксикации [13]. На поверхности грибных гиф могут присутствовать множество потенциальных участков связывания в виде свободных карбоксильных, гидроксильных, фосфатных и аминогрупп. Адсорбируемые свободными гифами металлы представляют собой угрозу для клеточного метаболизма, главным образом в силу индукции окислительного стресса. Многие эктомикоризные грибы способны противостоять токсичности ТМ путём мощной индукции синтеза глутатиона, сопровождающегося быстрым транспортом токсичных металлов в вакуоли [14]. Известен также ряд белков, участвующих в регуляции устойчивости эктомикоризных грибов к окислительному стрессу и ТМ за счёт внутриклеточного связывания металлов [15].

Заключение

В результате определения содержания меди, свинца и цинка в плодовых телах 24 видов базидиальных грибов, собранных на территории парков и скверов в пределах г. Кирова, установлены существенные различия в аккумуляции ТМ представителями различных эколого-трофических групп. Наибольшей способностью к накоплению ТМ, в сравнении с надземными ксилотрофными и наземными сапротрофными грибами, отличались симбиотрофные микоризообразующие виды, а именно *Tricholoma terreum* и *Hebeloma crustuliniforme*. Повышенная устойчивость эктомикоризных грибов к действию токсичных ионов может объясняться эволюционно сложившимися внутриклеточными механизмами противодействия окислительному стрессу за счёт оттока металлов в органеллы и регуляции клеточного редокс-гомеостаза.

Накопление ТМ в грибах определялось не только биологическими особенностями грибов, но и химической природой самого элемента. Максимальные уровни накопления отмечены для цинка и меди, гораздо меньшие – для свинца. Концентрации меди и цинка в плодовых телах большинства исследованных видов грибов превышают концентрацию этих элементов в окружающей среде (почве) от 2 до 85 раз, тогда как концентрации свинца — не более чем в 5 раз. Повышенной способностью накапливать медь и свинец характеризуются сапротрофные виды базидиомицетов, цинк – симбиотрофные грибы-микоризообразователи.

Эти данные представляют интерес для развития методов биоиндикации загрязнения ТМ городской среды.

Литература

1. Особенности урбоэкосистем подзоны южной тайги Европейского Северо-Востока / Под ред. Т. Я. Ашихминой, Л. И. Домрачевой. Киров: Изд-во ВятГГУ, 2012. 282 с.
2. Иванов А.И., Костычев А.А., Скобанев А.В., Аккумуляция тяжёлых металлов и мышьяка базидиомами макромицетов различных эколого-трофических и таксономических групп // Поволжский экологический журнал. 2008. № 3. С. 190–199.
3. Костычев А.А. Накопление свинца и мышьяка плодовыми телами дикорастущих грибов в условиях Пензенской области // Современная микология в России. М.: Национальная академия микологии, 2012. Т. 3. С. 187.
4. Широких А.А., Пушкарева Л.В., Широких И.Г. *Polyporus squamosus* как биоиндикатор загрязнения среды тяжёлыми металлами // Современная микология в России. М.: Национальная академия микологии, 2012. Т. 3. С. 196–197.
5. Пельгунов А.Н., Пельгунова Л.А. Аккумуляция тяжёлых металлов грибами на территории национального парка «Плещеево озеро» // Поволжский экологический журнал. 2015. № 2. С. 215–219.
6. Цветнова О.Б., Шатрова Н.Е., Щеглов А.И. Накопление радионуклидов и тяжёлых металлов грибным комплексом лесных экосистем // Сб. науч. трудов ИЯИ. Киев, 2001. № 3 (5). С. 171–176.
7. Ниемеля Т. Трутовые грибы Финляндии и прилегающей территории России. Хельсинки: Botanical Museum, Finnish museum of Natural History, 2001. 120 с.
8. Лессо Т. Грибы: Определитель. М.: ООО «Издательство АСТ», 2003. 304 с.
9. Кибби Дж. Атлас грибов: Определитель видов. СПб.: Амфора, 2009. 269 с.
10. Отмахов В.И., Петрова Е.В., Пушкарева Т.Н., Островерхова Г.П. Атомно-эмиссионная методика анализа грибов на содержание тяжёлых металлов и использование её для целей экомониторинга // Изв. Томского политех. ун-в. 2004. Т. 307. № 6. С. 44–46.
11. Воробьёва Л.А. Теория и практика химического анализа почв. М.: Геос, 2006. 400 с.
12. Широких А.А., Широких И.Г. Накопление тяжёлых металлов ксилотрофными базидиальными грибами в городских экосистемах // Микология и фитопатология. 2010. Т. 44. Вып. 4. С. 359–366.
13. Смит С.Э., Рид Д.Дж. Влияние эктомикоризной колонизации на устойчивость к токсичным ионам металлов // Микоризный симбиоз. М.: Товарищество научных изданий КМК. 2012. С. 378–381.
14. Blaudez D., Jacob C., Turnau K., Colpaert J. V., Aho-nen-Jonnarth U., Finlay R., Botton B., Chalot M. Differential responses of ectomycorrhizal fungi to heavy metals *in vitro* // Mycological Research. 2000. V. 104. P. 1366–1371.
15. Andriaensen K., Vralstad T., Noben J.P., Vangronsveld J., Colpaert J.V. Copper – adapted *Suillus luteus*, a symbiotic solution for pines colonizing Cu mine spoils //

Applied and Environmental Microbiology. 2005. V. 71. № 11. P. 7279–7284.

References

1. Features of urboecosystems of southern taiga of the European Northeast / Eds. T.Ya. Ashihmina, L.I. Dom-racheva. Kirov: Izd-vo VyatGGU, 2012. 282 p. (in Russian).
2. Ivanov A.I., Kostychev A.A., Skobanov A.V. Accumulation of heavy metals and arsenic by fruit bodies of macromycetes of different ecological trophic and taxonomic groups // Povolzhskiy ekologicheskiy zhurnal. 2008. № 3. P. 190–199 (in Russian).
3. Kostychev A.A. Accumulation of lead and arsenic in fruit bodies of wild mushrooms in the conditions of Penza region // Sovremennaya mikologiya v Rossii. M.: Natsionalnaya akademiya mikologii, 2012. T. 3. 187 p. (in Russian).
4. Shirokikh A.A., Pushkareva L.V., Shirokikh I.G. *Polyporus squamosus* as a bioindicator of heavy metal pollution // Sovremennaya mikologiya v Rossii. M.: Natsionalnaya akademiya mikologii, 2012. T. 3. P. 196–197 (in Russian).
5. Pelgunov A.N., Pelgunova L.A. Heavy metal accumulation by fungi in the National Park «Lake Pleshcheyevo» // Povolzhskiy ekologicheskiy zhurnal. 2015. № 2. P. 215–219 (in Russian).
6. Tsvetnova O.B., Shatrova N.E., Shcheglov A.I. The accumulation of radionuclides and heavy metals by the mushroom complex of forest ecosystems // Sb. nauch. trudov IYAI. Kiev. 2001. № 3 (5). P. 171–176 (in Russian).
7. Niemela T. Polypores of Finland and adjacent Russia. Helsinki: Botanical Museum, Finnish museum of Natural History, 2001. 120 p. (in Russian).
8. Laessoe T. Fungi: Identification guide. M.: ООО «Izdatelstvo AST», 2003. 304 p. (in Russian).
9. Kibby G. Fungi atlas: Identification guide of species. S-Pb.: Amphora, 2009. 269 p. (in Russian).
10. Otmakhov V.I., Petrova E.V., Pushkareva T.N., Ostroverkhova G.P. The technique of atomic emission analysis of fungi as for the content of heavy metals and its use in environmental monitoring // Izvestiya Tomskogo politekh. univ. 2004. T. 307. № 6. P. 44–46 (in Russian).
11. Vorobyeva L.A. Theory and practice of chemical soil analysis. M.: Geos, 2006. 400 p. (in Russian).
12. Shirokikh A.A., Shirokikh I.G. Heavy metals accumulation by xylo-trophic *Basidiomycetes* in urban ecosystems // Mikologiya i fitopatologiya. 2010. T. 44. P. 359–366.
13. Smith S.E., Reed D.J. Influence of ectomycorrhizas colonization on the resistance to toxic metal ions // Mikoriznyy simbios. M.: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2012. P. 378–381 (in Russian).
14. Blaudez D., Jacob C., Turnau K. et al. Differential responses of ectomycorrhizal fungi to heavy metals *in vitro* // Mycological Research. 2000. V. 104. P. 1366–1371.
15. Andriaensen K., Vralstad T., Noben J.P., Vangronsveld J., Colpaert J.V. Copper – adapted *Suillus luteus*, a symbiotic solution for pines colonizing Cu mine spoils // Applied and Environmental Microbiology. 2005. V. 71. № 11. P. 7279–7284.