

УДК 630*443.3

DOI 10.34014/2227-1848-2024-1-105-114

ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ТРОФИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Б.П. Чураков¹, У.П. Зырянова², Р.А. Загидуллин¹, Т.А. Парамонова¹,
Н.А. Митрофанова¹, А.В. Михеева¹

¹ ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет», г. Ульяновск, Россия;

² Ульяновский филиал ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», г. Ульяновск, Россия

Цель. Изучение накопления тяжелых металлов (ТМ) в трофических цепях (почва, древесина, листья древесных пород и грибы различных эволюционных групп) лесных экосистем.

Материалы и методы. Материалом для исследования служили почва, древесина, листья и грибы в лесах с различным уровнем антропогенной нагрузки. Отбор участков осуществлялся по материалам лесоустройства. Обследовано 26 участков, на которых производился отбор проб грибов различных эколого-трофических групп, на различных субстратах, в разных лесорастительных условиях и с различным уровнем техногенного воздействия, а также забор проб почвы. Пробы листьев и древесины забирались с пораженных фитопатогенами и здоровых деревьев. Химический анализ проб проводился с использованием атомно-абсорбционного спектрофотометра «Квант».

Результаты. Суммарное содержание ТМ в грибах выше, чем в древесине, но ниже, чем в почве. Суммарное содержание ТМ в листьях клена остролистного, пораженного черной пятнистостью, выше по сравнению со здоровыми листьями. Среди ТМ в исследуемых грибах преобладает железо, кадмия содержится минимальное количество.

Выводы. Наибольшее количество накопленных ТМ было обнаружено в плодовых телах факультативного сапротрофа, а наименьшее – в телах факультативного паразита. Тип леса и лесорастительные условия влияют на содержание ТМ в экосистемах.

Ключевые слова: экологические группы грибов, тяжелые металлы, почва, древесина, листья, факультативные сапротрофы, факультативные паразиты.

Введение. Тяжелые металлы (ТМ) представляют собой наиболее распространенные и опасные для биоты загрязнители окружающей среды. Техногенное загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами вызывает различные негативные реакции в живых организмах и создает неблагоприятные условия для существования растений, животных и человека. ТМ могут накапливаться в организмах и субстратах в количествах, значительно превышающих предельно допустимые концентрации. Высокий уровень содержания ТМ в живых организмах может вызывать необратимые процессы, приводящие к обеднению флоры и фауны.

Обладая мощным ферментативным аппаратом, грибы активно участвуют в круговороте биогенных элементов и очистке экосистем от загрязнения и радионуклидов. Поэтому вполне оправдана постановка вопроса об использовании грибов в качестве биологи-

ческих индикаторов загрязнения окружающей среды [1–4]. В этом плане интересны попытки использования в качестве биоиндикаторов шляпочных и трутовых грибов [5–9].

Исследования отечественных и зарубежных авторов показали, что одним из результативных методов биоиндикации состояния лесных экосистем является использование дереворазрушающих грибов. Патогенные грибы, развивающиеся на древесных породах, в процессе своей жизнедеятельности вступают с ними в сложные и разносторонние взаимоотношения, поэтому характер накопления ТМ отдельными представителями патогенной микобиоты будет зависеть не только от индивидуальных биологических особенностей партнеров, но и от характера их взаимоотношений.

Одним из требований к организмам – индикаторам загрязнений является способность накапливать поллютанты в концентрациях,

превышающих их содержание в окружающей среде, т.е. превышающих уровень фонового загрязнения. В лесных экосистемах основными элементами окружающей среды для грибов являются атмосферный воздух и субстрат, на котором они растут, чаще всего это почва и древесина. Поэтому при изучении биоиндикационных возможностей представителей микобиоты содержание ТМ в грибах можно сравнивать с уровнем фонового загрязнения питающих субстратов. Но фоновое загрязнение субстратов в разных местообитаниях грибов будет различным и зависит как от естественного содержания ТМ, так и от антропогенного загрязнения местности. В связи с этим для целей микоиндикации необходимо использовать фоновое загрязнение лесных экосистем, удаленных от крупных промышленных объектов и транспортных путей, т.е. относительно огражденных от техногенного воздействия.

Цель исследования. Изучение накопления тяжелых металлов в трофических цепях (почва, древесина, листья, грибы) лесных экосистем.

Материалы и методы. Материалом для исследования служили почва, древесина, листья и грибы в лесах Ульяновской области с различным уровнем антропогенной нагрузки. В каждой экологической группе выявлялись доминирующие грибы, в которых затем определялось содержание ТМ.

Грибами-доминантами среди факультативных сапротрофов определены на сосне обыкновенной сосновая губка (*Phellinus pini* (Thore ex Fr.)), на дубе черешчатом ложный дубовый трутовик (*Phellinus robustus* (Karst.) Bond. Et Galz.), на клене остролистном возбудитель черной пятнистости листьев (*Rhytisma acerinum* (Pers.) Fr.)

Доминантными грибами среди факультативных паразитов определены на березе бородавчатой настоящий трутовик (*Fomes fomentarius* (L.) Gill.), на дубе черешчатом опенок осенний (*Armillaria mellea* (Fr.) Kumm.) и на вязе мелколистном чешуйчатый трутовик (*Polyporus squamosus* Huds. ex Fr.).

С целью проведения сравнительного анализа содержание ТМ определялось не только в представителях микобиоты, но и в почве, на которой растут исследуемые древесные породы, в древесине и листьях, на которых развиваются выделенные грибы.

Сбор грибов проводился в условиях различной антропогенной нагрузки на лесные экосистемы: в окрестностях р.п. Кузоватово (слабый уровень антропогенного воздействия), в окрестностях р.п. Старая Майна (средний уровень антропогенной нагрузки) и в лесопарке «Победа» г. Ульяновска (высокий уровень антропогенного воздействия). В перечисленных представителях микобиоты определялось содержание следующих ТМ: Cu, Zn, Ni, Cd, Pb, Co, Fe.

В лабораторных условиях проводился химический анализ всех собранных образцов на содержание в них ТМ. Пробоподготовка образцов для анализа проводилась по гостированным методикам. Приготовленные для анализа образцы грибов и субстратов сжигались методом мокрого золени с применением смеси азотной и серной кислот. Химический анализ проб проводился с использованием атомно-абсорбционного спектрофотометра «Квант».

Результаты и обсуждение. Определено содержание ТМ в грибах разных эволюционных групп в лесных экосистемах с различных уровнем антропогенной нагрузки. Результаты представлены в табл. 1.

Анализ полученных данных показывает, что наибольшее суммарное (среднее) содержание ТМ наблюдается в плодовых телах ложного дубового трутовика (208,89 мг/кг), наименьшее – в плодовых телах настоящего трутовика (189,05 мг/кг). Плодовые тела чешуйчатого трутовика содержат в среднем 194,03 мг, а опенка осеннего – 199,09 мг ТМ на 1 кг сухого веса грибов. Следовательно, можно констатировать, что в исследованных местообитаниях наибольшее суммарное (среднее) содержание ТМ отмечено в плодовых телах факультативного сапротрофа (ложного дубового трутовика).

Таблица 1

Table 1

Содержание тяжелых металлов в грибах разных экологических групп ($X \pm S_x$), мг/кгHeavy metal content in fungi of different environmental groups ($X \pm S_x$), mg/kg

Вид гриба Fungal species	Место сбора Collecting ground	Cu	Zn	Ni	Cd	Pb	Co	Fe	Итого Total
<i>Phellinus robustus</i>	Старая Майна Staraya Mauna	20,04± 0,14	32,07± 0,24	21,15± 0,18	1,10± 0,08	9,02± 0,11	3,26± 0,14	109,18± 0,42	194,72
<i>Phellinus robustus</i>	Кузоватово Kuzovatovo	19,10± 0,11	19,54± 0,32	11,51± 0,17	2,40± 0,07	8,60± 0,12	3,52± 0,06	100,40± 0,41	165,07
<i>Phellinus robustus</i>	Ульяновск Ulyanovsk	19,43± 0,12	27,08± 0,24	25,74± 0,21	4,33± 0,11	18,82± 0,23	3,45± 0,16	168,05± 0,17	266,90
Среднее Average		19,52	26,23	19,46	2,61	12,15	3,41	125,88	
<i>Fomes fomentarius</i>	Кузоватово Kuzovatovo	21,16± 0,34	15,34± 0,23	14,84± 0,12	1,82± 0,22	6,12± 0,34	2,38± 0,12	101,24± 0,31	162,90
<i>Fomes fomentarius</i>	Старая Майна Staraya Mauna	21,18± 0,13	27,96± 0,41	21,09± 0,36	2,80± 0,16	9,20 0,42	3,72± 0,38	109,69± 0,22	195,64
<i>Fomes fomentarius</i>	Ульяновск Ulyanovsk	23,09± 0,09	29,07± 0,34	28,07± 0,31	3,32± 0,11	9,89± 0,27	4,08± 0,14	111,09± 0,26	208,61
Среднее Average		21,81	24,12	21,33	2,65	8,40	3,39	107,34	
<i>Polyporus squamosus</i>	Старая Майна Staraya Mauna	21,92± 0,22	22,04± 0,56	20,07± 0,22	3,12± 0,01	9,12± 0,02	2,18± 0,16	116,30± 0,76	194,75
<i>Polyporus squamosus</i>	Кузоватово Kuzovatovo	21,24± 0,13	18,50± 0,21	17,65± 0,19	2,22± 0,08	5,21± 0,12	4,58± 0,20	103,40± 0,32	172,80
<i>Polyporus squamosus</i>	Ульяновск Ulyanovsk	23,38± 0,18	28,34± 0,41	18,08± 0,21	4,12± 0,22	9,11± 0,16	5,10± 0,08	126,40± 0,69	214,53
Среднее Average		22,18	22,96	18,60	3,15	7,81	3,95	115,37	
<i>Armillaria mellea</i>	Кузоватово Kuzovatovo	16,08± 0,09	26,07± 0,24	21,06± 0,21	2,38± 0,11	3,27± 0,32	2,76± 0,19	109,03± 0,54	180,65
<i>Armillaria mellea</i>	Старая Майна Staraya Mauna	21,09± 0,11	26,87± 0,31	24,98± 0,22	4,32± 0,21	5,69± 0,22	2,44± 0,20	117,01± 0,33	202,40
<i>Armillaria mellea</i>	Ульяновск Ulyanovsk	24,54± 0,16	25,34± 0,37	26,34± 0,25	3,98± 0,11	9,04± 0,31	5,03± 0,23	119,95± 0,75	214,22
Среднее Average		20,57	26,09	24,13	3,56	6,00	3,41	115,33	

Вид гриба Fungal species	Место сбора Collecting ground	Cu	Zn	Ni	Cd	Pb	Co	Fe	Итого Total
Сумма Σ		84,08	99,4	83,52	11,97	34,36	14,16	463,92	
Среднее Average		21,02	24,85	20,88	2,99	8,59	3,54	115,98	

В исследованных грибах из изученных элементов больше всего содержится железа (115,98 мг/кг в среднем на один гриб), меньше всего – кадмия (2,99 мг/кг). Велико также содержание цинка (в среднем 24,85 мг/кг). Содержание в грибах изученных ТМ по мере увеличения их количества образует следующий ряд: Cd<Co<Pb<Ni<Cu<Zn<Fe.

Из полученных данных видно, что на содержание ТМ в плодовых телах грибов существенное влияние оказывают антропогенные нагрузки: чем сильнее их воздействие, тем выше содержание ТМ в грибах. Например, суммарное содержание ТМ в плодовых телах опенка осеннего в лесах р.п. Кузоватово с низкой антропогенной нагрузкой составляет 180,65 мг/кг, в лесах Старой Майны со сред-

ней антропогенной нагрузкой – 202,40 мг/кг, а в лесопарке г. Ульяновска с высокой антропогенной нагрузкой – 214,22 мг/кг.

Грибы, вызывающие различные пятнистости листьев, мучнистую росу, пожелтение и опадение хвои, занимают определенные трофические уровни в пищевых цепях лесных экосистем, и через эти органы растений также осуществляется движение ТМ. С этой точки зрения представляет большой научный интерес исследование характера накопления отдельных ТМ листьями и хвоей, пораженными и не пораженными этими болезнями. В табл. 2 представлены данные по содержанию ТМ в листьях клена остролистного, пораженных и не пораженных возбудителем черной пятнистости.

Таблица 2

Table 2

Содержание тяжелых металлов в листьях *Acer platanoides* ($X \pm S_x$), мг/кг

Heavy metal content in the leaves of *Acer platanoides* ($X \pm S_x$), mg/kg

Показатель Parameter	Место сбора Collecting ground	Cu	Zn	Ni	Cd	Pb	Co	Fe	Итого Total
Листья с черной пятнистостью Leaves affected by <i>Rhytisma acerinum</i>	Кузоватово Kuzovatovo	56,38± 0,11	89,11± 0,33	102,93± 0,78	11,48± 0,14	78,64± 0,62	50,04± 0,43	201,56± 0,56	590,14
	Старая Майна Staraya Mayna	51,48± 0,24	101,11± 0,32	102,74± 0,54	22,08± 0,09	81,26± 0,53	50,07± 0,41	198,65± 0,63	607,39
	Ульяновск Ulyanovsk	56,81± 0,32	60,82± 0,11	178,92± 0,23	10,32± 0,08	60,65± 0,13	51,42± 0,34	247,36± 0,36	666,30
Сумма Σ		164,67	251,04	384,59	43,88	220,55	151,89	647,57	
Среднее Average		54,89	83,68	128,19	14,63	73,52	50,63	215,85	
Здоровые листья	Кузоватово Kuzovatovo	43,52± 0,12	80,09± 0,26	91,74± 0,65	8,21± 0,11	65,86± 0,54	44,76± 0,21	189,73± 0,23	523,90

Показатель Parameter	Место сбора Collecting ground	Cu	Zn	Ni	Cd	Pb	Co	Fe	Итого Total
Leaves of a healthy plant	Старая Майна Staraya Mayna	45,43± 0,21	86,31± 0,34	79,56± 0,26	18,89± 0,11	78,23± 0,21	43,11± 0,20	181,78± 0,41	533,31
	Ульяновск Ulyanovsk	50,12± 0,23	56,32± 0,24	167,15± 0,39	7,98± 0,11	57,28± 0,22	50,11± 0,13	239,43± 0,42	628,39
Сумма Σ		139,07	222,72	338,45	35,08	201,37	137,98	610,94	
Среднее Average		46,35	74,24	112,82	11,93	67,12	45,98	203,64	

Анализ полученных данных показывает, что не пораженные черной пятнистостью листья клена остролистного во всех исследованных местообитаниях имеют меньшее суммарное содержание ТМ, чем листья, пораженные этой болезнью. Например, валовое содержание ТМ в здоровых листьях клена в лесопарке г. Ульяновска составляет 628,39 мг/кг, в больных листьях – 666,30 мг/кг.

Во всех вариантах исследований суммарное содержание ТМ в листьях выше в местообитаниях с более высокой степенью антропогенной нагрузки. Например, в лесах р.п. Кузоватово здоровые листья клена содержат 523,90 мг/кг, больные – 590,14 мг/кг, в ле-

сопарке г. Ульяновска (с высокой техногенной нагрузкой) – соответственно 628,39 и 666,30 мг/кг. Содержание отдельных ТМ в здоровых и больных листьях клена остролистного образует следующий ряд: Cd<Co<Cu<Pb<Zn<Ni<Fe.

Для того чтобы использовать представителей микобиоты в качестве биоиндикаторов загрязнения тяжелыми металлами лесных экосистем, необходимо знать содержание этих металлов в субстратах, на которых растут грибы. В связи с этим было проведено изучение содержания ТМ в древесине и почве в разных местообитаниях грибов. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3
Table 3

Содержание тяжелых металлов в разных субстратах ($X \pm S_x$), мг/кг

Heavy metal content in different substrates ($X \pm S_x$), mg/kg

Вид субстрата Substrate	Место сбора Collecting ground	Cu	Zn	Ni	Cd	Pb	Co	Fe	Итого Total
Почва черноземная Black earth	Ульяновск Ulyanovsk	34,56± 0,21	75,41± 0,39	27,97± 0,41	10,09± 0,03	33,96± 0,11	10,86± 0,08	791,24± 0,21	984,09
Древесина вяза Elm wood	Ульяновск Ulyanovsk	26,04± 0,20	63,20± 0,17	19,71± 0,19	11,32± 0,08	24,36± 0,13	12,21± 0,11	132,18± 0,43	289,02
Трутовик чешуйчатый <i>Polyporus squamosus</i>	Ульяновск Ulyanovsk	34,38± 0,18	68,34± 0,46	21,18± 0,26	13,12± 0,20	35,30± 0,06	12,10± 0,08	126,40± 0,69	310,82

Вид субстрата Substrate	Место сбора Collecting ground	Cu	Zn	Ni	Cd	Pb	Co	Fe	Итого Total
Почва серая лесная Gray forest soil	Кузоватово Kuzovatovo	58,42± 0,28	67,92± 0,51	30,08± 0,65	10,70± 0,02	15,06± 0,06	14,41± 0,18	713,54± 0,19	910,13
Древесина березы Birch wood	Кузоватово Kuzovatovo	29,08± 0,11	45,60± 0,32	15,60± 0,30	12,31± 0,31	15,19± 0,22	13,00± 0,06	118,40± 0,26	249,18
<i>Fomes fomentarius</i>	Кузоватово Kuzovatovo	29,00± 0,13	48,40± 0,64	22,00± 0,38	10,00± 0,01	10,00± 0,31	13,60± 0,38	131,81± 0,16	264,81
Почва черноземная Black soil	Еремкино Eremkino	30,31± 0,17	47,43± 0,61	24,24± 0,25	10,91± 0,02	28,21± 0,31	13,06± 0,21	817,41± 0,24	971,57
Древесина дуба Oak wood	Еремкино Eremkino	25,39± 0,13	39,54± 0,35	23,50 ±0,17	10,74± 0,04	26,60± 0,12	11,58± 0,03	120,70± 0,42	258,05
<i>Phellinus robustus</i>	Еремкино Eremkino	24,02± 0,17	41,28± 0,36	19,24± 0,58	11,14± 0,20	25,06± 0,29	13,72± 0,21	153,20± 0,12	287,66
Почва песчаная Sandy soil	Белое озеро Белое озеро Lake Beloe	33,71± 0,26	38,22 ±0,11	18,66± 0,26	8,85± 0,12	21,06± 0,44	11,74± 0,13	810,86± 0,51	933,10
Древесина сосны Pine wood	Белое озеро Lake Beloe	16,24± 0,32	29,46± 0,48	12,34± 0,55	8,42± 0,04	16,66± 0,17	14,12± 0,18	112,12± 0,27	209,36
<i>Phellinus pini</i>	Белое озеро Белое озеро Lake Beloe	17,86± 0,38	31,90± 0,52	20,30± 0,91	7,00± 0,09	23,40± 0,21	15,21± 0,19	106,31± 0,42	221,98

Анализ данных табл. 3 дает основание констатировать следующее. Из трех типов почв (черноземная, серая лесная и песчаная) наибольшее суммарное содержание ТМ наблюдается в черноземной почве лесопарка г. Ульяновска (984,09 мг/кг), наименьшее – в песчаной почве в окрестностях Белого озера Николаевского района (933,10 мг/кг). Эти результаты согласуются с литературными данными и указывают на то, что по мере усиления техногенного влияния увеличивается накопление ТМ в почвах.

Почвы с большим содержанием органического вещества (черноземы и серые лесные почвы) содержат больше ТМ, чем почвы легкого механического состава (песчаные). Такая же тенденция к увеличению содержания ТМ по мере усиления антропогенного воздействия на лесные экосистемы сохраняется для древесины и плодовых тел исследованных грибов.

Суммарное количество ТМ во всех типах почв выше, чем в древесине пород, растущих

на этих почвах. Это говорит о том, что валовое содержание ТМ в почве не отражает реальной способности растений их поглощать. Считается, что корни растений усваивают лишь свободные, т.е. не адсорбированные (не связанные) почвенно-поглощающим комплексом, тяжелые металлы [10–13].

Выводы:

1. Из изученных грибов-макромицетов больше всего накапливают ТМ плодовые тела ложного дубового трутовика (факультативного сапротрофа), меньше всего – плодовые тела настоящего трутовика (факультативного паразита).

2. Во всех исследованных грибах больше всего содержится железа, меньше всего – кадмия.

3. Суммарное содержание ТМ в листьях клена остролистного, пораженного черной пятнистостью, больше, чем в непораженных листьях.

4. Суммарное содержание ТМ в богатых почвах больше, чем в бедных, что, по-видимому, связано с большей аккумулярующей способностью первых по отношению ко вторым.

5. Суммарное содержание ТМ в древесине ниже, чем в почве, на которой произрастало дерево. Это связано с тем, что корни растений усваивают только свободные тяжелые металлы, не адсорбированные почвенно-поглощающими комплексами.

6. Суммарное содержание ТМ в грибах выше, чем в древесине, на которой они произ-

растают. Это можно объяснить тем, что грибы, находясь на вершине экологической пирамиды, накапливают больше ТМ, чем древесина, занимающая более низкий трофический уровень в этой пирамиде.

7. В исследованных лесных экосистемах отмечено влияние типа леса на содержание ТМ. В более богатых типах леса суммарное содержание ТМ выше, чем в более бедных. Это, по-видимому, связано с различным плодородием почв в разных лесорастительных условиях.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов

Концепция и дизайн исследования: Чураков Б.П., Зырянова У.П.

Литературный поиск, участие в исследовании, обработка материала: Зырянова У.П., Загидуллин Р.А., Парамонова Т.А., Митрофанова Н.А., Михеева А.В.

Статистическая обработка данных: Чураков Б.П., Зырянова У.П.

Анализ и интерпретация данных: Чураков Б.П., Зырянова У.П.

Написание и редактирование текста: Чураков Б.П., Зырянова У.П., Парамонова Т.А.

Литература

1. *Брындина Е.В.* Действие выбросов медеплавильного завода на сообщества ксилотрофных базидиомицетов южной тайги. Сибирский экологический журнал. 2000; 6: 679–684.
2. *Чураков Б.П.* Представители микобиоты как индикаторы загрязнения почв тяжелыми металлами. Ученые записки УлГУ. Сер. Экология. 2000; 1 (2): 101–105.
3. *Chauhan D.* Potential of *Agaricus bisporus* for bioremediation of different heavy metals. Journal of Chemical, Biological, Physical and Science Security. 2014; 4 (1): 338–341.
4. *Dan N.* Heavy metal biosorption by mushrooms. Natural Product Radiance. 2005; 4 (5): 454–459.
5. *Гордеева И.В.* Исследования влияния загрязнения субстрата тяжелыми металлами на размеры плодовых тел грибов в городских экосистемах. Биология, систематика и экология грибов в природных экосистемах и агрофитоценозах: материалы II Международной научной конференции, г. Минск – д. Каменюки, 20–23 сентября 2016 г. Минск: Колорград; 2016: 79–83.
6. *Иванов А.И.* Аккумуляция тяжелых металлов и мышьяка базидиомами макромицетов различных эколого-трофических и систематических групп. Поволжский экологический журнал. 2008; 3: 190–199.
7. *Широких И.Г.* Накопление тяжелых металлов базидиомицетами разных эколого-трофических групп в урбоэкосистеме. Биология, систематика и экология грибов в природных экосистемах и агрофитоценозах: материалы II Международной научной конференции, г. Минск – д. Каменюки, 20–23 сентября 2016 г. Минск: Колорград; 2016: 292–296.
8. *Andriaensen K.* Copper – adapter *Suillus luteus*, a symbiotic solution for pines colonizing Cu mine spoils. Applied and Environmental Microbiology. 2005; 71 (11): 7279–7284.
9. *Kalac P.* Content of cadmium and mercury in edible mushrooms. Journal of Applied Biomedicine. 2004; 2: 15–20.
10. *Ильин В.Д.* О биогенном накоплении макро- и микроэлементов в профиле черноземов и дерново-подзолистых почв. Известия СО АН СССР. Серия биологических наук. 1985; 3: 20–25.
11. *Ильин В.Д.* Тяжелые металлы в системе почва-растение. Новосибирск: Наука; 1991. 115.
12. *Королев Ю.В.* Аккумуляция тяжелых металлов лесными грибами в Калининградской области. Вестник Балтийского федерального университета им. Канта. 2014; 1: 78–85.

13. *Поддубный А.В.* Оценка качества среды по содержанию тяжелых металлов в опенке осеннем *Armillaria mellea*. Микология и фитопатология. 1999; 33 (4): 271–274.

Поступила в редакцию 18.04.2023; принята 28.01.2024.

Авторский коллектив

Чураков Борис Петрович – доктор биологических наук, профессор кафедры лесного хозяйства, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет». 432017, Россия, г. Ульяновск, ул. Л. Толстого, 42; e-mail: churakovbp@yandex.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3278-7744>.

Зырянова Ульяна Петровна – кандидат биологических наук, доцент кафедры экономики и государственного управления, Ульяновский филиал ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации». 432071, Россия, г. Ульяновск, ул. Корюкина, 20; e-mail: n.zuryanova323@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0820-2961>.

Загидуллин Роберт Анварович – аспирант кафедры лесного хозяйства, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет». 432017, Россия, г. Ульяновск, ул. Л. Толстого, 42; e-mail: lil-liza@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4436-9363>.

Парамонова Татьяна Анатольевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры лесного хозяйства, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет». 432017, Россия, г. Ульяновск, ул. Л. Толстого, 42; e-mail: paramonova-77@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0009-0008-9463-0017>.

Митрофанова Наталья Александровна – кандидат биологических наук, доцент кафедры лесного хозяйства, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет». 432017, Россия, г. Ульяновск, ул. Л. Толстого, 42; e-mail: ulgu-mna@rambler.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-8620-443X>.

Михеева Анастасия Вячеславовна – студентка медицинского факультета, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет». 432017, Россия, г. Ульяновск, ул. Л. Толстого, 42; e-mail: nastyamv2003@icloud.com, ORCID ID: <http://orcid.org/0009-0008-8604-0463>.

Образец цитирования

Чураков Б.П., Зырянова У.П., Загидуллин Р.А., Парамонова Т.А., Митрофанова Н.А., Михеева А.В. Динамика накопления тяжелых металлов в трофических цепях лесных экосистем. Ульяновский медико-биологический журнал. 2024; 1: 105–114. DOI: 10.34014/2227-1848-2024-1-105-114.

DYNAMICS OF HEAVY METAL ACCUMULATION IN TROPHIC LEVELS OF FOREST ECOSYSTEMS

**B.P. Churakov¹, U.P. Zyryanova², R.A. Zagidullin¹, T.A. Paramonova¹,
N.A. Mitrofanova¹, A.V. Mikheeva¹**

¹ Ulyanovsk State University, Ulyanovsk, Russia;

² Ulyanovsk Branch of Russian Presidential Academy of National Economy
and Public Administration, Ulyanovsk, Russia

The aim of the study is to examine the accumulation of heavy metals (HMs) in trophic levels (soil, wood, tree leaves and fungi of various evolutionary origin) of forest ecosystems.

Materials and Methods. The authors examined soil, wood, leaves and fungi in forests with different anthropogenic load intensity. The collecting grounds were selected according to forest management materials. In total, 26 grounds were examined. Sampling of soil and fungi of various trophic levels was carried out on different substrates, in different forest conditions and under different levels of technogenic impact. Leaf and wood samples were taken from phytopathogen-affected and healthy trees. Chemical sample analysis was carried out using a Kvant atomic absorption spectrophotometer.

*Results. The total heavy metal content in fungi is higher than in wood, but lower than in soil. The total heavy metal content in leaves of Norway maple affected by *Rhytisma acerinum* is higher compared to the leaves from healthy trees. Iron predominates among the heavy metals found in the fungi under consideration; cadmium content is minimal.*

Conclusion. The largest amount of accumulated heavy metals was found in the fruiting bodies of the facultative saprotroph, and the smallest amount was in the bodies of the facultative parasite. The forest type and growing conditions affect the heavy metal content in ecosystems.

Key words: ecological groups of fungi, heavy metals, soil, wood, leaves, facultative saprotrophs, facultative parasites.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Author contributions

Research concept and design: Churakov B.P., Zyryanova U.P.

Literature search, participation in the research study, data processing: Zyryanova U.P.,

Zagidullin R.A., Paramonova T.A., Mitrofanova N.A., Mikheeva A.V.

Statistical data processing: Churakov B.P., Zyryanova U.P.

Data analysis and interpretation: Churakov B.P., Zyryanova U.P.

Text writing and editing: Churakov B.P., Zyryanova U.P., Paramonova T.A.

References

1. Bryndina E.V. Deystvie vybrosov medeplavil'nogo zavoda na soobshchestva ksilotrofnyykh bazidiomitssetov yuzhnoy taygi [The effect of emissions from a copper smelter on xylophilic basidiomycete communities in southern taiga]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*. 2000; 6: 679–684 (in Russian).
2. Churakov B.P. Predstaviteli mikrobioty kak indikatorы zagryazneniya pochv tyazhelymi metallami [Mycobiota representatives as indicators of soil contamination with heavy metals]. *Uchenye zapiski UIGU. Ser. Ekologiya*. 2000; 1 (2): 101–105 (in Russian).
3. Chauhan D. Potential of *Agaricus bisporus* for bioremediation of different heavy metals. *Journal of Chemical, Biological, Physical and Science Security*. 2014; 4 (1): 338–341.
4. Dan N. Heavy metal biosorption by mushrooms. *Natural Product Radianc*e. 2005; 4 (5): 454–459.
5. Gordeeva I.V. Issledovaniya vliyaniya zagryazneniya substrata tyazhelymi metallami na razmery plodovyykh tel gribov v gorodskikh ekosistemakh [Study of substrate heavy metal contamination on the size of fungi fruiting bodies in urban ecosystems]. *Biologiya, sistematika i ekologiya gribov v prirodnykh ekosistemakh i agrofytotsenozakh: materialy II Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, g. Minsk – d. Kamenyuki, 20–23 sentyabrya 2016 g* [Biology, systematics and ecology of fungi in natural ecosystems and agrophytocenoses: Proceedings of the 2nd International Scientific Conference, Minsk – Kamenyuki village, September 20–23, 2016]. Minsk: Kolorgrad; 2016: 79–83 (in Russian).
6. Ivanov A.I. Akkumulyatsiya tyazhelykh metallov i mysh'yaka bazidiomami makromitssetov razlichnykh ekologo-troficheskikh i sistemacheskikh grupp [Accumulation of heavy metals and arsenic by basidiomas of macromycetes of various ecological-trophic and systematic groups]. *Povolzhskiy ekologicheskiy zhurnal*. 2008; 3: 190–199 (in Russian).
7. Shirokikh I.G. Nakoplenie tyazhelykh metallov bazidiomitssetami raznykh ekologo-troficheskikh grupp v urboekosisteme [Accumulation of heavy metals by basidiomycetes of different ecological and trophic groups in the urban ecosystem]. *Biologiya, sistematika i ekologiya gribov v prirodnykh ekosistemakh i agrofytotsenozakh: materialy II Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, g. Minsk – d. Kamenyuki, 20–23 sentyabrya 2016 g* [Biology, systematics and ecology of fungi in natural ecosystems and agrophytocenoses: Proceedings of the 2nd International Scientific Conference, Minsk – Kamenyuki village, September 20–23, 2016]. Minsk: Kolorgrad; 2016: 292–296 (in Russian).
8. Andriaensen K. Copper – adapter *Suillus luteus*, a symbiotic solution for pines colonizing Cu mine spoils. *Applied and Environmental Microbiology*. 2005; 71 (11): 7279–7284.
9. Kalac P. Content of cadmium and mercury in edible mushrooms. *Journal of Applied Biomedicine*. 2004; 2: 15–20.
10. Il'in V.D. O biogennom nakoplenii makro- i mikroelementov v profile chernozemov i dernovo-podzolistykh pochv [Biogenic accumulation of macro- and microelements in the profile of black earth and soddy podzolic soils]. *Izvestiya SO AN SSSR. Seriya biologicheskikh nauk*. 1985; 3: 20–25 (in Russian).
11. Il'in V.D. *Tyazhelye metally v sisteme pochva-rastenie* [Heavy metals in the soil-plant system]. Novosibirsk: Nauka; 1991. 115 (in Russian).

12. Korolev Yu.V. Akkumulyatsiya tyazhelykh metallov lesnymi gribami v Kaliningradskoy oblasti [Accumulation of heavy metals by wild mushrooms in the Kaliningrad region]. *Vestnik Baltiyskogo federal'nogo universiteta im. Kanta*. 2014; 1: 78–85 (in Russian).
13. Poddubnyy A.V. Otsenka kachestva sredy po sodержaniyu tyazhelykh metallov v openke osennem *Armillaria mellea* [Assessment of environmental quality based on the content of heavy metals in *Armillaria mellea*]. *Mikologiya i fitopatologiya*. 1999; 33 (4): 271–274 (in Russian).

Received April 18, 2023; accepted January 28, 2024.

Information about the authors

Churakov Boris Petrovich, Doctor of Sciences (Biology), Professor, Chair of Forestry, Ulyanovsk State University. 432017, Russia, Ulyanovsk, L. Tolstoy St., 42; e-mail: churakovbp@yandex.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3278-7744>.

Zyryanova Ul'yana Petrovna, Candidate of Sciences (Biology), Associate Professor, Chair of Economics and Public Administration, Ulyanovsk Branch of Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration. 432071, Russia, Ulyanovsk, Koryukin St., 20; e-mail: n.zyryanova323@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0820-2961>.

Zagidullin Robert Anvarovich, Postgraduate Student, Chair of Forestry, Ulyanovsk State University. 432017, Russia, Ulyanovsk, L. Tolstoy St., 42; e-mail: lilliza@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4436-9363>.

Paramonova Tat'yana Anatol'evna, Candidate of Sciences (Biology), Associate Professor, Chair of Forestry, Ulyanovsk State University. 432017, Russia, Ulyanovsk, L. Tolstoy St., 42; e-mail: paramonova-77@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0009-0008-9463-0017>.

Mitrofanova Natal'ya Aleksandrovna, Candidate of Sciences (Biology), Associate Professor, Chair of Forestry, Ulyanovsk State University. 432017, Russia, Ulyanovsk, L. Tolstoy St., 42; e-mail: ulgu-mna@rambler.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-8620-443X>.

Mikheeva Anastasiya Vyacheslavovna, Student, Medical Department, Ulyanovsk State University. 432017, Russia, Ulyanovsk, L. Tolstoy St., 42; e-mail: nastyamv2003@icloud.com, ORCID ID: <http://orcid.org/0009-0008-8604-0463>.

For citation

Churakov B.P., Zyryanova U.P., Zagidullin R.A., Paramonova T.A., Mitrofanova N.A., Mikheeva A.V. Dinamika nakopleniya tyazhelykh metallov v troficheskikh tsepyakh lesnykh ekosistem [Dynamics of heavy metal accumulation in trophic levels of forest ecosystems]. *Ulyanovskiy mediko-biologicheskij zhurnal*. 2024; 1: 105–114. DOI: 10.34014/2227-1848-2024-1-105-114 (in Russian).