

УДК 504.054

Ю. В. Королева, М. А. Охрименко

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ЛЕСНЫМИ ГРИБАМИ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

*Обсуждается способность дикорастущих грибов накапливать тяжелые металлы. Содержание таких элементов, как Ag, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, в плодовых телах лесных грибов было определено методом атомно-абсорбционной спектрометрии. В результате установлено, что некоторые виды грибов имеют высокое сродство к кадмию и серебру, а наибольшей аккумулярующей способностью накапливать эти элементы обладает белый гриб *B. edilis*. Зависимость между концентрацией металлов в верхнем слое почвы и содержанием их в плодовых телах – неочевидна, однако наблюдается тенденция к накоплению тяжелых металлов на территории, близко расположенной к источникам выбросов.*

*This article examines the ability of wild mushrooms to accumulate heavy metals. The concentration of Ag, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb in the fruiting bodies of forest mushrooms was determined using AAS techniques. It is established that certain mushroom species accumulate cadmium and silver, whereas the most pronounced ability is found in *Boletus edulis*. The correlation between the concentration of metals in the upper soil layer and fruiting bodies is questionable, however, areas in the vicinity of emission sources are characterized by a tendency of heavy metal accumulation.*

Ключевые слова: тяжелые металлы, накопление, дикорастущие грибы.

Key words: heavy metals, accumulation, wild mushrooms.

Введение

Некоторые виды грибов избирательно накапливают токсичные и тяжелые металлы. Это свойство обсуждается во многих работах, но выводы о способности базидальных макромицетов реагировать на загрязнение окружающей среды и корректно отражать ее качественные изменения неоднозначны [1–13]. В основном исследователи сходятся в том, что способность концентрировать токсичные и тяжелые металлы обусловлена биохимическими особенностями грибов, в частности их белковым составом [14–19]. Приводимые аргументы против использования грибов как индикаторов загрязнения – это отсутствие корреляции между содержанием металлов в плодовых телах и в верхнем слое почвы в незагрязненных районах [6; 18; 24] и короткое время жизни плодового тела, из-за чего доля металлов в плодовых телах, аккумулированная из атмосферных выпадений, незначительна. [1; 10]. Но, с другой стороны, в районах с высоким уровнем техногенного загрязнения содержание токсичных и тяжелых металлов в плодовых телах грибов значительно выше [14; 17; 18].

Цель настоящей работы – определение содержания металлов: кадмия, свинца, серебра, железа, никеля, меди, кобальта, хрома – в плодовых телах лесных грибов, собранных на участках в разных ландшафтных генетических комплексах и с различной степенью антропогенной нагрузки.

Материалы и методы

Образцы 32 видов грибов были собраны с трех участков, расположение которых показано на схеме (рис. 1).

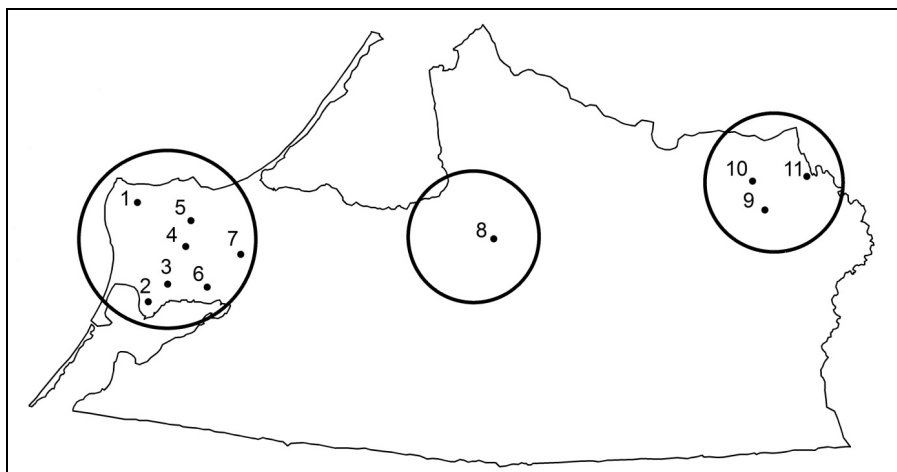


Рис. 1. Районы исследований:
лесные массивы Самбийского полуострова (семь точек отбора) – участок 1;
лесной массив в западной части Полесской моренной низменности (одна точка отбора) –
участок 2; лесной массив в северной части Шешупской озерно-ледниковой равнины
(три точки отбора) – участок 3



На первом участке рельеф представляет собой серию конечно-моренных гряд направленностью в основном с северо-запада на юго-восток. Высота некоторых холмов достигает 60–80 м. Участок характеризуется высоким уровнем антропогенной нагрузки и низким — сельскохозяйственной. На Самбийском полуострове в лесных массивах в семи точках были отобраны образцы 16 видов лесных грибов:

1 — моренная равнина с ельником мертвopoкpoвным; дерново-слабоподзолистые оглеенные песчаные почвы;

2, 3 — древнедельтовая низменность; дерново-слабоподзолистые, песчаные почвы; сосняк мелкотравный зеленомошный;

4 — конечно-моренный узел; дерново-слабоподзолистые песчаные почвы; ельник-кисличник;

5 — конечно-моренный узел; бурые лесные ненасыщенные легкосуглинистые почвы; ельник-кисличник;

6 — древнедельтовая низменность; дерново-слабоподзолистые почвы; ельник-черничник;

7 — холмистая моренная равнина; дерново-подзолистые супесчаные почвы; ельник-кисличник.

Второй участок расположен в западной части Полесской моренной низменности. Он отличается повышенным уровнем антропогенных нагрузок и средним — сельскохозяйственных. Лесное покрытие — самое высокое в регионе. С одного участка были собраны 20 видов лесных грибов:

8 — озерно-ледниковая низменность; дерново-слабоподзолистые глеевые среднесуглинистые почвы; ельник-зеленомошник.

Третий участок — леса Мичуринский, Неманский и Верхненеманский Шешупской равнины; расположен в северо-восточной части региона, граничит с Литвой. Образцы девяти видов дикорастущих грибов были собраны с трех участков:

9 — озерно-ледниковая равнина; почвы дерново-скрытоподзолистые глеевые среднесуглинистые; ельник травянистый;

10, 11 — древнеаллювиальная бугристая равнина; почвы дерново-поверхностно подзолистые иллювиально-железистые песчаные; ельник-зеленомошник (10), сосняк-брусничник (11).

Пробootбор и пробоподготовка

Всего были отобраны образцы 32 видов лесных грибов: *Armillariella mellea* (Vahl) P. Karst., *Boletus edulis* Bull., *Cantharellus cibarius* Fr., *Coltricia perennis* (L.) Murrill, *Craterellus cornucopioides* (L.) Pers., *Hydnum repandum* L., *Hypholoma fasciculare* (Huds.) P. Kumm., *Kuehneromyces mutabilis* Singer & A. H. Sm., *Lactarius camphoratus* (Bull.) Fr., *Lactarius helvus* (Fr.) Fr., *Lactarius mitissimus* (Fr.) Fr., *Lactarius rufus* (Scop.) Fr., *Leccinum aurantiacum* (Bull.) Gray, *Leccinum holopus* (Rostk.) Watling, *Lepista nuda* (Bull.) Cooke, *Marasmius scorodonius* (Fr.) Fr., *Paxillus involutus* Batsch ex Fr., *Pholiota aurivella* (Fr.) Kumm., *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm., *Ramaria invalli* (Cott. Et. Wakef.) Donk., *Russula aeruginea* Lindbl. Ex. Fr., *Russula betularum* Hora, *Russula claroflava* Grove., *Russula cyanoxantha* (Secr.) Fr., *Russula decolorans* (Fr.) Fr., *Russula delica* Fr., *Russula foetens* Pers., *Russula paludosa* Britzelm., *Russula lepida* S. F. Gray., *Russula xerampelina* var. *Rubra* (Britz.) Sing., *Tylopilus felleus* (Bull.) P. Karst., *Xerocomus chrysenteron* (Bull.) Quél. Всего было проанализировано 45 образцов различных видов.



Поверхность плодовых тел механически очистили пластмассовым ножом от загрязнения. Плодовые тела нарезали и высушили при температуре 40°C. Готовили не менее трех параллельных навесок каждого образца по 0,5 г (с точностью до четвертого знака). Взвешенные образцы перенесли в сосуды для минерализации объемом 50 мл, добавили 7 мл HNO₃ (оч., 70 %), поместили в систему электротермического разложения Digiblock (LabTech) EHD20. Разложение образца проводили по схеме:

- 1) выдерживали при комнатной температуре, 12 ч;
- 2) нагревали от комнатной температуры до 135°C, 15 мин;
- 3) кипятили при 135°C, 15 мин;
- 4) охлаждали;
- 5) нагревали с 2 мл H₂O₂ до 190°C.

Нагревание проводили до прекращения выделения белых паров, оставшийся после выпаривания объем (около 2 мл) поместили мерную колбу объемом в 25 мл и разбавили 0,5%-ной HNO₃. Элементный состав образцов изучали методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ContrAA 700, Analytikjena). Для определения макрокомпонентов (железо, марганец) использовали пламенный атомизатор, для установления содержания микроэлементов применили электротермический атомизатор (графитовая кювета с Pin-платформой). Воспроизводимость результатов как в пламенном, так и в электротермическом варианте метода в зависимости от способа атомизации и изучаемого элемента варьировала от 0,4 до 5 %. Достоверность полученных результатов оценивали стандартными аналитическими приемами — методом добавки и сравнением с контрольными образцами (ЛБ-1 ГСО 8923-2007 и ЭК-1 ГСО 8921-2007).

Результаты и обсуждение

Для изучения специфичности накопления токсичных и тяжелых металлов лесными грибами собранные образцы грибов разделили на три экологические трофические группы: микоризообразователи, сапротрофы (почвенные и гумусовые) и ксилотрофы. Элементный состав плодовых тел лесных грибов (M), величина стандартной ошибки среднего значения (SE) и стандартного отклонения (SD) приведены в таблице 1.

Таблица 1

Среднее содержание токсичных и тяжелых металлов в грибах разных трофических групп ($p < 0,05$)

| Элемент | Микоризообразователи | | Сапротрофы | | Ксилотрофы | |
|---------|----------------------|------|-------------|------|-------------|------|
| | M ± SE | SD | M ± SE | SD | M ± SE | SD |
| Ag | 1,3 ± 0,2 | 1,2 | 1,2 ± 0,4 | 1,2 | 1,3 ± 0,4 | 1,2 |
| Cd | 1,6 ± 0,4 | 2,3 | 0,44 ± 0,30 | 0,91 | 1,1 ± 0,4 | 1,3 |
| Co | 0,14 ± 0,02 | 0,14 | 0,25 ± 0,06 | 0,17 | 0,38 ± 0,25 | 0,76 |
| Cr | 1,2 ± 0,2 | 1,1 | 2,1 ± 0,7 | 2,0 | 1,8 ± 0,8 | 2,4 |
| Cu | 44 ± 5 | 28 | 31 ± 6 | 19 | 18 ± 4 | 11 |
| Fe | 141 ± 23 | 135 | 225 ± 64 | 192 | 340 ± 153 | 459 |
| Mn | 18 ± 2 | 14 | 34 ± 9 | 27 | 33 ± 14 | 41 |
| Ni | 9,4 ± 2,4 | 14 | 3,0 ± 1,0 | 2,9 | 2,9 ± 0,7 | 2,0 |
| Pb | 0,44 ± 0,07 | 0,39 | 0,51 ± 0,13 | 0,39 | 0,90 ± 0,21 | 0,62 |



Анализ полученных данных выявил специфичность накопления элементов в зависимости от типа питания. Микоризообразователи испытывают сродство к кадмию, никелю, меди; грибы-ксилотрофы накапливают кобальт, марганец, железо, свинец. Тем не менее внутри выборок наблюдается значительный разброс значений содержания металлов, что следует из величины стандартного отклонения (SD); вероятно, уровень накопления тех или иных элементов определяется не только типом питания, но и другими факторами: концентрацией микроэлементов в субстрате, условиями среды обитания и др.

Значения содержания токсичных и тяжелых металлов в плодовых телах грибов с учетом видовой специфичности приведены в таблицах 2, 3.

Таблица 2

Среднее, максимальное и минимальное содержание (мкг/г сухой массы) анализируемых металлов в плодовых телах грибов различных видов ($n \geq 2$)

| Species | | Cd | Cr | Cu | Co | Pb | Ag | Ni | Mn | Fe |
|---------------------------------------|------|-------|------|-----|--------|--------|-------|------|------|------|
| <i>Boletus edulis</i> | Mean | 4,4 | 0,74 | 30 | 0,12 | 0,14 | 2,8 | 5,9 | 9,3 | 61 |
| | max | 8,7 | 1,1 | 46 | 0,34 | 0,43 | 4,3 | 10 | 18 | 75 |
| | min | 1,8 | 0,45 | 8,0 | 0,027 | 0,0083 | 1,3 | 2,7 | 1,5 | 48 |
| <i>Pleurotus ostreatus</i> | M | 0,44 | 3,2 | 7,7 | 0,26 | 0,95 | 1,6 | 3,1 | 54 | 673 |
| | max | 1,1 | 7,9 | 12 | 0,53 | 1,7 | 2,7 | 6,2 | 135 | 1525 |
| | min | 0,092 | 0,67 | 4,4 | 0,013 | 0,18 | 0,32 | 0,72 | 6,0 | 210 |
| <i>Lactarius rufus</i> | M | 0,11 | 0,78 | 25 | 0,15 | 0,20 | 1,3 | 10 | 9,6 | 100 |
| | max | 0,14 | 1,0 | 31 | 0,27 | 0,32 | 2,7 | 23 | 20 | 199 |
| | min | 0,086 | 0,48 | 21 | 0,031 | 0,015 | 0,036 | 1,7 | 1,5 | 34 |
| <i>Tylopilus felleus</i> | M | 0,85 | 0,99 | 37 | 0,058 | 0,35 | 1,7 | 16 | 12 | 193 |
| | max | 2,3 | 1,6 | 50 | 0,12 | 0,43 | 2,5 | 46 | 23 | 275 |
| | min | 0,080 | 0,68 | 29 | 0,013 | 0,27 | 0,78 | 1,1 | 1,6 | 91 |
| <i>Cantharellus cibarius</i> | M | 0,081 | 2,2 | 70 | 0,15 | 0,56 | 0,50 | 3,4 | 26 | 312 |
| | max | 0,11 | 4,8 | 133 | 0,26 | 1,0 | 0,77 | 5,5 | 55 | 658 |
| | min | 0,038 | 0,56 | 34 | 0,0042 | 0,16 | 0,26 | 1,5 | 4,3 | 74 |
| <i>Kuehneromyces mutabilis</i> | M | 0,74 | 1,5 | 26 | 1,2 | 1,7 | 2,6 | 2,4 | 38,5 | 162 |
| | max | 1,2 | 2,4 | 27 | 1,6 | 1,8 | 3,9 | 4,0 | 39 | 262 |
| | min | 0,261 | 0,56 | 25 | 0,037 | 1,6 | 1,2 | 0,90 | 38 | 61 |
| <i>Hypholoma fasciculare</i> | M | 1,9 | 0,57 | 27 | 0,021 | 0,76 | 0,43 | 4,2 | 13 | 113 |
| | max | 3,6 | 0,92 | 39 | 0,038 | 0,95 | 0,61 | 5,6 | 23,3 | 182 |
| | min | 0,19 | 0,22 | 15 | 0,0041 | 0,56 | 0,25 | 2,8 | 2,5 | 44 |
| <i>Paxillus involutus</i> | M | 0,26 | 0,33 | 56 | 0,17 | 0,18 | 0,52 | 4,6 | 15 | 136 |
| | max | 0,36 | 0,41 | 77 | 0,34 | 0,25 | 0,61 | 8,4 | 22 | 214 |
| | min | 0,15 | 0,24 | 34 | 0,0026 | 0,11 | 0,42 | 0,76 | 7,9 | 58 |
| <i>Russula xerampelina var. rubra</i> | M | 2,95 | 0,46 | 61 | 0,021 | 0,68 | 0,26 | 4,6 | 14 | 72 |
| | max | 4,7 | 0,46 | 79 | 0,033 | 1,3 | 0,29 | 5,0 | 15 | 96 |
| | min | 1,2 | 0,45 | 43 | 0,0085 | 0,072 | 0,22 | 4,2 | 14 | 48 |
| <i>Russula paludosa</i> | M | 1,24 | 0,73 | 35 | 0,036 | 1,2 | 0,89 | 7,2 | 23 | 57 |
| | max | 1,4 | 0,93 | 38 | 0,054 | 1,4 | 1,8 | 11 | 27 | 65 |
| | min | 1,0 | 0,53 | 33 | 0,019 | 0,98 | 0,013 | 3,6 | 18 | 49 |



Таблица 3

**Содержание (мкг/г сухой массы) анализируемых металлов
в плодовых телах грибов различных видов**

| Species | Cd | Cr | Cu | Co | Pb | Ag | Ni | Mn | Fe |
|-----------------------------------|-------|------|-----|--------|--------|------|------|-----|-----|
| <i>Coltricia perennis</i> | 2,9 | 0,71 | 23 | 0,43 | 0,87 | 0,31 | 1,9 | 17 | 72 |
| <i>Craterellus cornucopioides</i> | 0,046 | 5,0 | 23 | 0,18 | 0,47 | 0,28 | 2,9 | 93 | 487 |
| <i>Hydnum repandum</i> | 0,030 | 1,1 | 18 | 0,083 | 0,12 | 0,50 | 7,5 | 18 | 143 |
| <i>Kuehneromyces mutabilis</i> | 0,35 | 1,0 | 14 | 0,16 | 0,17 | 1,0 | 0,75 | 24 | 86 |
| <i>Lactarius camphoratus</i> | 0,10 | 0,58 | 49 | 0,0051 | 0,43 | 0,34 | 3,1 | 33 | 215 |
| <i>Lactarius helvius</i> | 0,061 | 0,57 | 25 | 0,010 | 0,44 | 2,4 | 1,6 | 15 | 80 |
| <i>Lactarius mitissimus</i> | 1,1 | 1,8 | 40 | 0,021 | 0,61 | 0,28 | 25 | 5,8 | 117 |
| <i>Leccinum aurantiacum</i> | 1,2 | 0,54 | 136 | 0,32 | 0,025 | 3,1 | 7,1 | 9,7 | 116 |
| <i>Leccinum holopus</i> | 6,3 | 0,49 | 36 | 0,013 | 0,0093 | 0,62 | 4,4 | 9,9 | 318 |
| <i>Lepista nuda</i> | 0,13 | 2,2 | 36 | 0,19 | 0,23 | 3,5 | 2,0 | 25 | 585 |
| <i>Marasmius scorodonius</i> | 0,16 | 2,0 | 28 | 0,42 | 0,94 | 1,2 | 1,1 | 40 | 117 |
| <i>Pholiota aurivella</i> | 2,5 | 1,6 | 23 | 0,022 | 0,90 | 0,61 | 2,8 | 4,6 | 401 |
| <i>Ramaria involli</i> | 0,018 | 6,1 | 7,9 | 0,13 | 0,47 | 1,2 | 1,7 | 19 | 280 |
| <i>Russula aeruginea</i> | 0,12 | 1,4 | 32 | 0,24 | 0,39 | 0,81 | 0,76 | 43 | 106 |
| <i>Russula betularum</i> | 0,24 | 1,7 | 46 | 0,017 | 0,33 | 0,31 | 4,1 | 5,1 | 105 |
| <i>Russula claroflava</i> | 0,13 | 1,3 | 34 | 0,24 | 1,2 | 2,7 | 3,1 | 36 | 53 |
| <i>Russula cyanoxantha</i> | 1,9 | 0,82 | 47 | 0,54 | 0,044 | 0,14 | 2,2 | 10 | 64 |
| <i>Russula decolorans</i> | 0,22 | 0,63 | 27 | 0,15 | 0,32 | 0,21 | 24 | 34 | 65 |
| <i>Russula delica</i> | 0,018 | 3,0 | 40 | 0,20 | 0,59 | 1,2 | 11 | 29 | 321 |
| <i>Russula foetens</i> | 0,38 | 1,0 | 39 | 0,36 | 0,67 | 2,4 | 2,5 | 42 | 74 |
| <i>Russula lepida</i> | 0,19 | 1,3 | 31 | 0,47 | 1,2 | 2,9 | 0,70 | 59 | 66 |
| <i>Xerocomus chrysenteron</i> | 7,0 | 4,2 | 27 | 0,23 | 0,43 | 1,4 | 63 | 9,0 | 118 |

Содержание кадмия в плодовых телах на незагрязненных участках колеблется от 0,5 до 5 мкг/г сухой массы и зависит от видовой принадлежности грибов. Наиболее высокий уровень накопления кадмия определен в *B. edulis* (точка 7, лес Козий, участок I), он составил 8,8 мкг/г в пересчете на свежие грибы, с учетом влажности образца это количество превышает значение ПДК в 4 раза. Однако свойство аккумулировать значительные количества кадмия — особенность грибов этого вида. Даже на незагрязненных территориях содержание кадмия в *B. edulis* может быть значительно выше, чем в других видах грибов [9; 10; 12; 15; 16; 21–23]. По ряду биогеохимических критериев, в том числе по величине коэффициента концентрирования (10 n), *B. edulis* можно рассматривать как умеренный аккумулятор кадмия.

Содержание хрома в грибах различных видов колебалась от 0,22 до 7,9 мкг/г (*P. ostreatus*). Из литературных данных следует, что содержание хрома в грибах на территориях, не подверженных внешнему загрязнению, варьирует от 0,5 до 5 мкг/г сухой массы [9; 10; 15; 16; 20–23; 26]. Как следует из нашего исследования, виды *P. ostreatus* и *R. Invoalli* накапливают хром более интенсивно, чем другие.



Фоновое содержание меди в большинстве видов в экологически чистых районах варьирует между 20 и 100 мкг/г сухой массы [9; 10; 15; 16; 23; 25; 26]. Наиболее высокий уровень содержания меди был установлен в *L. aurantiacum* (136 мкг/г) — в образце, отобранном на III участке (лес Мичуринский), минимум — 4,4 мкг/г (*P. ostreatus*, точка 7, лес Козий, участок I). Обладающие высоким сродством к меди виды *S. cibarius* и *L. aurantiacum* можно считать аккумуляторами меди.

Содержание кобальта, как правило, ниже или около 0,5 мкг/г сухой массы и только в редких случаях превышает 1,0 мкг/г [9; 15; 16; 22; 23]. Зафиксированный нами максимум составил 1,6 мкг/г (*K. mutabilis*), минимум — 0,0026 мкг/г (*P. involutus*).

Фоновые содержания свинца варьируют между 1,0 и 10 мкг/г [9; 10; 12; 15; 16; 20–33]. Региональный уровень накопления свинца грибами ниже средних значений в Европе, максимум составил 1,8 мкг/г.

Грибы, особенно болетовые, накапливают серебро так же активно, как кадмий. Максимальная концентрация этого элемента в нашем исследовании составила 4,3 мкг/г (*B. edulis*), минимальная 0,013 мкг/г (*P. paludosa*); эти результаты сопоставимы с литературными данными по содержанию серебра в лесных грибах [22–26]. Фоновые значения концентраций серебра колеблются от 0,5 до 5,0 мкг/г и зависят от видовой принадлежности грибов. Количество никеля в лесных грибах может варьировать от следов до 15 мкг/г в пересчете на сухую массу [9; 15; 16; 20; 23]. В настоящем исследовании минимальный уровень накопления установлен в *R. Lepida* (0,70 мкг/г), максимальный — в *R. decolorans* (24 мкг/г).

Фоновые концентрации марганца в грибах различных видов варьируют от 10 до 60 мкг/г сухой массы [9; 10; 15; 16; 20; 22; 23; 25]. Максимальное содержание в настоящей работе зафиксировано у *P. ostreatus* — 136 мкг/г и *S. cornucopioides* — 93 мкг/г (Полесский лес, участок II).

Содержание железа на незагрязненных участках колеблется от менее 25 до 500 мкг/г сухой массы [9; 10; 15; 16; 20–23; 25], в Калининградской области максимальный уровень накопления железа составил 1525 мкг/г (*P. ostreatus*, Полесский лес, участок II).

Для выявления связи между содержанием тяжелых металлов в плодовых телах лесных грибов и степенью антропогенной нагрузки на территорию все отобранные образцы были систематизированы по месту произрастания и типу питания. С учетом этих факторов определили средние значения содержания металлов в трех выборках: грибы-микоризообразователи, сапротрофы и ксилотрофы.

По результатам проведенного исследования можно сделать некоторые выводы. Среднее значение содержания кадмия и никеля в грибах разных трофических групп на Самбийском полуострове выше, чем в аналогичных видах в центральной и восточной частях региона. Отличительная особенность грибов центральной части области — высокое содержание серебра, хрома, марганца, а восточной — меди. При этом ксилотрофы способны накапливать свинец, железо, марганец и хром в больших количествах, чем грибы других трофических групп (рис. 2) [22].

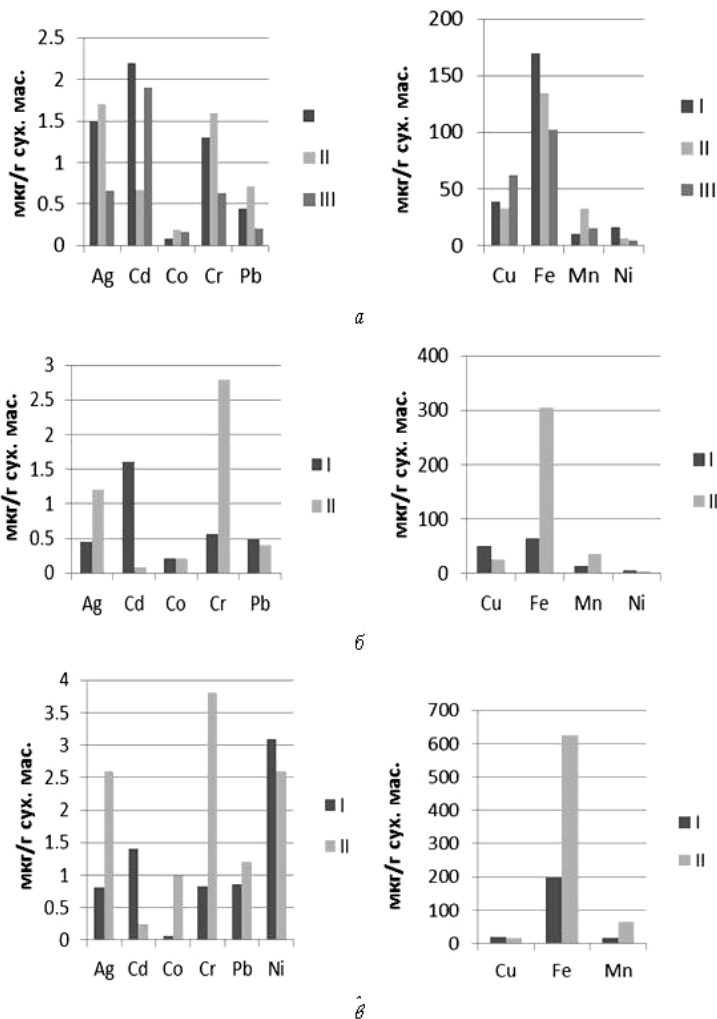


Рис. 2. Содержание элементов:
 а – в микоризных грибах; б – в сапротрофах; в – в ксилотрофах
 в зонах обследования: I – леса Самбийского полуострова;
 II – Полесский лес; III – леса Краснознаменского района

Было вычислено среднее содержание металлов в съедобных грибах четырех родов: *Boletus Fr.*, *Cantharellus Fr.*, *Lactarius S.F. Gray*, *Russula (Fr.) S.F. Gray* (представители этих родов встречались во всех зонах обследования). В результате этого установили некоторые закономерности накопления в них металлов. Например, высокая аккумулирующая способность кадмия и серебра – особенность грибов рода *Boletus*; хрома, свинца, марганца, меди – рода *Cantharellus*; кобальта, никеля – рода *Lactarius*. Однозначной зависимости между накоплением грибами тяжелых и токсичных металлов и уровнем промышленной нагрузки на соответствующих территориях не обнаруживается, за исключением грибов рода *Russula*; здесь наблюдаются некоторые закономерности аккумуляции в зависимости от места произрастания (табл. 4). Для этого рода



наибольшая концентрация металлов в плодовых телах грибов находится во второй зоне, только уровень техногенных элементов — меди и кадмия — выше на Самбийском полуострове.

Таблица 4

**Среднее содержание (мкг/г сухой массы) микроэлементов
в плодовых телах грибов родов *Boletus*, *Cantharellus*, *Lactarius*, *Russula*
в лесных массивах зон с различной антропогенной нагрузкой**

| Zone | Cd | Cr | Pb | Co | Ag | Cu | Mn | Fe | Ni |
|---------------------|-------|------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|
| <i>Boletus</i> | | | | | | | | | |
| I | 5,3 | 0,86 | 0,063 | 0,19 | 3,3 | 36 | 9,9 | 65 | 7,3 |
| II | 4,9 | 0,45 | 0,43 | 0,027 | 3,3 | 41 | 8,1 | 48 | 2,7 |
| III | 2,2 | 0,79 | 0,008 | 0,095 | 1,3 | 8,0 | 9,4 | 66 | 6,3 |
| <i>Cantharellus</i> | | | | | | | | | |
| I | 0,092 | 2,2 | 0,64 | 0,18 | 0,62 | 50 | 4,3 | 658 | 4,3 |
| II | 0,11 | 4,8 | 1,0 | 0,17 | 0,78 | 34 | 55 | 415 | 1,5 |
| III | 0,16 | 0,82 | 0,29 | 0,13 | 0,30 | 97 | 23 | 88 | 3,9 |
| <i>Lactarius</i> | | | | | | | | | |
| I | 0,35 | 0,99 | 0,45 | 0,017 | 1,5 | 36 | 14 | 112 | 13 |
| II | 0,086 | 0,82 | 0,27 | 0,17 | 1,2 | 22 | 20 | 199 | 1,9 |
| III | 0,14 | 0,48 | 0,015 | 0,27 | 0,036 | 21 | 7,9 | 66 | 7,0 |
| <i>Russula</i> | | | | | | | | | |
| I | 2,5 | 1,1 | 0,81 | 0,025 | 0,30 | 45 | 10 | 101 | 4,5 |
| II | 0,30 | 1,4 | 0,82 | 0,25 | 1,7 | 34 | 37 | 105 | 7,6 |
| III | 1,5 | 0,60 | 0,37 | 0,19 | 0,13 | 53 | 17 | 59 | 3,4 |

114

Для изучения накопительной способности изученных видов грибов сравнили содержание металлов в их плодовых телах. В соответствии с рассчитанным коэффициентом концентрации ($K_C = C_{Me} / C_{з.к}$ где C_{Me} — содержание в пробе, мкг/г, $C_{з.к}$ — средняя концентрация этого элемента в земной коре, мкг/г). Геохимические спектры представлены в таблице 5.

Таблица 5

**Коэффициент концентрации (K_c) микроэлементов
дикорастущими грибами разных родов (геохимические спектры)**

| Genus of mushrooms | Ag | Cd | Cu | Ni | Cr | Pb | Co | Mn | Fe |
|----------------------|-----|-----|------|------|-------|------|-------|------|-------|
| <i>Boletus</i> | 32 | 28 | 1,4 | 0,23 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,002 |
| <i>Cantharellus</i> | 5,7 | 5,1 | 3,2 | 0,13 | 0,06 | 0,04 | 0,02 | 0,04 | 0,009 |
| <i>Coltricia</i> | 4,1 | 6,1 | 0,97 | 0,16 | 0,07 | 0,03 | 0,03 | 0,06 | 0,007 |
| <i>Hypholoma</i> | 4,9 | 12 | 1,2 | 0,16 | 0,02 | 0,05 | 0,003 | 0,02 | 0,003 |
| <i>Kuehneromyces</i> | 29 | 4,6 | 1,2 | 0,09 | 0,04 | 0,11 | 0,16 | 0,06 | 0,005 |
| <i>Lactarius</i> | 13 | 1,7 | 1,4 | 0,39 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,003 |
| <i>Leccinum</i> | 24 | 12 | 2,7 | 0,14 | 0,04 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,008 |
| <i>Lepista</i> | 27 | 0,9 | 1,5 | 0,06 | 0,06 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,009 |
| <i>Paxillus</i> | 5,9 | 1,6 | 2,5 | 0,18 | 0,009 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,004 |
| <i>Pleurotus</i> | 19 | 2,8 | 0,35 | 0,12 | 0,09 | 0,06 | 0,04 | 0,08 | 0,02 |
| <i>Russula</i> | 12 | 6,0 | 1,8 | 0,23 | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,04 | 0,003 |
| <i>Tylopilus</i> | 19 | 5,3 | 1,7 | 0,62 | 0,03 | 0,02 | 0,008 | 0,02 | 0,005 |



| Genus of mushrooms | Ag | Cd | Cu | Ni | Cr | Pb | Co | Mn | Fe |
|----------------------|-----|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <i>Armillariella</i> | 12 | 2,2 | 0,62 | 0,03 | 0,03 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,002 |
| <i>Craterellus</i> | 3,2 | 0,29 | 1,0 | 0,11 | 0,15 | 0,03 | 0,03 | 0,13 | 0,01 |
| <i>Hydnum</i> | 5,7 | 0,19 | 0,80 | 0,29 | 0,03 | 0,007 | 0,01 | 0,03 | 0,004 |
| <i>Marasmius</i> | 19 | 0,13 | 0,28 | 0,02 | 0,004 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,009 |
| <i>Pholiota</i> | 6,9 | 15 | 1,0 | 0,11 | 0,05 | 0,06 | 0,003 | 0,007 | 0,01 |
| <i>Ramaria</i> | 14 | 0,11 | 0,36 | 0,065 | 0,18 | 0,03 | 0,02 | 0,03 | 0,008 |
| <i>Xerocomus</i> | 16 | 44 | 1,2 | 2,4 | 0,12 | 0,03 | 0,03 | 0,01 | 0,003 |

Наиболее интенсивно аккумулируют серебро и кадмий грибы родов *Boletus* и *Xerocomus*, эти данные сопоставимы с результатами аналогичных исследований в Польше, Чехии и Финляндии [21 – 25]. Такие виды, как *Kuehneromyces*, *Leccinum*, *Lepista*, *Tylophilus Marasmius*, являются сильными аккумуляторами серебра, остальные могут быть признаны умеренными в этом плане. Вероятно, серебро – необходимый биофильный элемент для грибов, и его содержание связано с физиологическими и биохимическими потребностями объекта исследования.

Заключение

В целом содержание металлов в лесных грибах Калининградской области находится в диапазоне низких значений, этот факт свидетельствует о низком биогеохимическом фоне региона. Исключение составляют грибы родов *Boletus* и *Xerocomus*. Для грибов озерно-ледниковой низменности характерно повышенное содержание хрома, никеля, железа, марганца, а для растительных ассоциаций Самбийского моренного плато – накопление грибами кадмия и меди. *Russula* обладают умеренной аккумулирующей способностью, и содержание металлов в них имеет тенденцию изменяться параллельно степени антропогенной нагрузки (уровня загрязнения).

Отчетливой связи между концентрацией металлов и уровнем антропогенного воздействия не выявлено. Однако содержание техногенных элементов кадмия и меди в плодовых телах грибов выше на Самбийском полуострове, территория которого отличается высоким уровнем антропогенного (промышленной) нагрузки.

Список литературы

1. Цветнова О.Б., Шатрова Н.М., Щеглов А.М. Накопление радионуклидов и тяжелых металлов грибным комплексом лесных экосистем // Науч. тр. Ин-та ядерных исследований. 2001. №3. С. 171 – 176.
2. Щеглова А.И., Цветновой О.Б. Грибы – биоиндикаторы техногенного загрязнения // Природа. 2002. №11. С. 39 – 46.
3. Eckl P., Hofmann W., Türk R. Uptake of natural and man-made radionuclides by lichens and mushrooms // Radiat Environ Biophys. 1986. N 25(1). P. 43 – 54.
4. Baeza A., Guille F. J., Salas A., Manjo J.L. Distribution of radionuclides in different parts of a mushroom: Influence of the degree of maturity // Science of the Total Environment. 2006. N 359. P. 255 – 266.



5. Malinowska E., Szefer P., Bojanowski R. Radionuclides content in *Xerocomus badius* and other commercial mushrooms from several regions of Poland // Food Chemistry. 2006. N 97. P. 19–24.

6. Kalač P. A review of edible mushroom radioactivity // Food Chemistry. 2001. N 75. P. 29–35.

7. Горбунов А.В., Лятунов С.М., Окина О.И. О накоплении тяжелых и токсичных металлов базидальными грибами // Микология и фитопатология. 2013. Т. 47, вып. 1. С. 12–18.

8. Barcan V. Sh., Kovnatsky E. F., Smetannikova M. S. Berries and Edible Mushrooms in an Area Affected by Smelter Emissions // Water, Air, & Soil Pollution. 1998. Vol. 103. P. 173–195.

9. Ouzouni P., Petridis D., Wolf-Dietrich K., Riganakos K. A. Nutritional value and metal content of wild edible mushrooms collected from West Macedonia and Epirus, Greece // Food Chemistry. 2009. N 115. P. 1575–1580.

10. Durali M., Uluözllü Ö. D., Tüzzen M. et al. Trace metal levels in mushroom samples from Ordu, Turkey // Food Chemistry. 2005. N 91. P. 463–467.

11. Поддубный А.В., Христофорова Н.К., Ковкеждова Л.Т. Макромицеты как индикаторы загрязнения среды тяжелыми металлами // Микология и фитопатология. 1998. Т. 32, вып. 6. С. 47–51.

12. Попова М.Г. Способность дикорастущих съедобных грибов Центральной Якутии аккумулировать тяжелые металлы // Наука и образование. 2011. №4. С. 75–77.

13. Garcia M.A., Alonso J., Melgar M.J. Bioconcentration of chromium in edible mushrooms: Influence of environmental and genetic factors // Food and Chemical Toxicology. 2013. No 58. P. 249–254.

14. Kalač P., Neznanska M., Bevilacqua D., Staiikova I. Concentrations of mercury, copper, cadmium and lead in fruiting bodies of edible mushrooms in the vicinity of a mercury smelter and a copper smelter // The Science of the Total Environment. 1996. N 177. P. 251–258.

15. Kalač P., Svoboda L. A review of trace element concentrations in edible mushrooms // Food Chemistry. 2000. N 69. P. 273–281.

16. Kalač P. Trace element contents in European species of wild growing edible mushrooms: A review for the period 2000–2009 // Food Chemistry. 2010. N 122. P. 2–15.

17. Svoboda L., Havlickova B., Kalač P. Contents of cadmium, mercury and lead in edible mushrooms growing in a historical silver-mining area // Food Chemistry. 2006. N 96. P. 580–585.

18. Petkovšek S. Al S., Pokorny B. Lead and cadmium in mushrooms from the vicinity of two large emission sources in Slovenia // Science of the Total Environment. 2013. N 443. P. 944–954.

19. Gast S.H., Jansen E., Bierling J., Haanstra L. Heavy metals in Mushrooms and their relationship with soil characteristics // Chemosphere. 1988. Vol. 17, №4. P. 789–799.

20. Иванов А.И., Костычев А.А., Скобанев А.В. Аккумуляция тяжелых металлов и мышьяка базидиомами макромицетов различных эколого-трофических и таксономических групп // Поволжский экологический журнал. 2008. №3. С. 190–199.

21. Rudawska M., Leski T. Macro- and microelement contents in fruiting bodies of wild mushrooms from the Notecka forest in west-central Poland // Food Chemistry. 2005. N 92. P. 499–506.

22. Falandysz J., Kunito T., Kubota R. et al. Multivariate characterization of elements accumulated in King Bolete *Boletus edulis* mushroom at lowland and high mountain regions // Journal of Environmental Science and Health. 2008. N 43. P. 1692–1699.



23. *Malinowska E., Szefera P., Falandysz J.* Metals bioaccumulation by bay bolete, *Xerocomus badius*, from selected sites in Poland // Food Chemistry. 2004. N 84. P. 405–416.

24. *Falandysz J., Bona H., Danisiewicz D.* Silver content of wild-grown mushrooms from Northern Poland // Z Lebensm Unters Forsch. 1994. N 199. P. 222–224.

25. *Pelkonen R., Alfthan G., Järvinen O.* Element Concentrations in Wild Edible Mushrooms in Finland // The Finnish environment. 2008. N 25. URL: <http://hdl.handle.net/10138/38380> (дата обращения: 04.12.2014).

26. *Svoboda L., Chrastny V.* Contents of eight trace elements in edible mushrooms from a rural area // Food Additives and Contaminants. 2007. 25.01. P. 51–58.

Об авторах

Юлия Владимировна Королева — канд., геогр. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.

E-mail: yu.koroleff@yandex.ru

Максим Алексеевич Охрименко — студ., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.

E-mail: okhri932010@gmail.com

About the Authors

Dr Yuliya Koroleva, Associate Professor, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: yu.koroleff@yandex.ru

Maxim Okhrimenko, Student, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: okhri932010@gmail.com