

ecosystems of the Vyatka river on the territory of the State Nature Reserve «Nurgush» and in Zarechnyy Park in Kirov // *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2016. No. 3. P. 68–75 (in Russian).

14. Lukesova A. Soil algae in Brown Coal and Lignite Post-Mining areas in Central Europe (Czech Republic and Germany) // *Restoration Ecology*. 2001. V. 9. No. 4. P. 341–350.

15. Starks T.L., Shubert L.E., Trainor F.R. Ecology of soil algae: a review // *Phycological*. 1981. V. 20 (1). P. 65–80.

16. Lukesova A., Hoffmann L. Soils algae from acid rain impacted forest areas of the Krusne hory Mts. 1. Algal communities // *Vegetation*. 1996. V. 125. P. 123–136.

17. Myers P.E. Davis J.S. Recolonization of soils by algae in a northcentral Florida pine forest after controlled fire and soil sterilization // *Nova Hedwigia*. 2003. V. 76. P. 207–219.

18. Maltseva I.A. Soil algae of forest ecosystems of steppe area of Ukraine // *Algae in terrestrial ecosystems: Abstracts International Conference*. Kaniv. 2005. P. 49.

УДК 908.470.40+547

Содержание ртути в почвах и биологических объектах природных и техногенных территорий

© 2017. А. Г. Горохова¹, к. б. н., м. н. с., А. И. Иванов², д. б. н., профессор, Н. А. Язынина¹, м. н. с., С. Е. Ермолаев³, к. т. н., начальник, М. В. Ферезанова⁴, к. т. н., в. н. с.,

¹1206 объект по хранению и уничтожению химического оружия, 440520, Россия, Пензенская обл., Леонидовка,

²Пензенский государственный аграрный университет, 440014, Россия, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30,

³Федеральное управление по безопасному хранению и уничтожению химического оружия, 115487, Россия, г. Москва, ул. Садовники, 4-а,

⁴Научно-исследовательский центр Федерального управления по безопасному хранению и уничтожению химического оружия, 115487, Россия, г. Москва, ул. Садовники, 4-а, e-mail: fubhuho@mail.ru

В статье рассмотрена проблема содержания ртути (Hg) в почвах и биологических объектах зоны защитных мероприятий объекта УХО в пос. Леонидовка Пензенской области. Исследования показали, что среднее содержание Hg в серых лесных почвах района исследований значительно ниже ПДК и составляет 0,019 мг/кг. Среднее содержание Hg в древесных растениях было несколько выше и составило 0,0334 мг/кг. Вероятно, это объясняется контактом надземных частей растений с атмосферными выпадениями, а не миграцией Hg из почвы. Содержание Hg в исследованных образцах съедобных грибов оказалось в 3,5 раза выше, чем в почве. Вегетативный мицелий, на котором образуются их плодовые тела, находится внутри питающего субстрата и не контактирует непосредственно с атмосферными выпадениями. Поэтому грибы являются концентраторами Hg. Наиболее высокие коэффициенты накопления имели: зонтик высокий, подгруздок белый, волнушка розовая и шампиньон полевой; однако все полученные значения содержания Hg находились в пределах ПДК.

Ключевые слова: древесные растения, лесная растительность, мониторинг, токсичные элементы, природные среды, почвы, ртуть, грибы.

Content of mercury in soils and biological objects of natural and technogenic territories

A. G. Gorokhova¹, A. I. Ivanov², N. A. Yazynina¹, S. E. Ermolaev³, M. V. Ferezanova⁴,

¹ 1206 Facility for Storage and Destruction of Chemical Weapons, Leonidovka, Penza region, Russia, 440520,

² Penza State Agrarian University, 30, Botanicheskaya St., Penza, Russia, 440014,

³ Federal Directorate for Safe Storage and Destruction of Chemical Weapons, 4 a St. Sadovniki, Moscow, Russia, 115487,

⁴ Research and Development center of the Federal Directorate for Safe Storage and Destruction of Chemical Weapons, 4 a St. Sadovniki, Moscow, Russia, 115487

The article deals with the problem of mercury (Hg) content in soils and biological objects of the CWD plant protective measures zone in the village of Leonidovka in Penza region. Researcher proves the average Hg content in gray forest soils in the area to be much lower than the maximum permissible concentration and is 0.019 mg/kg. The average content of Hg in woody plants was slightly higher (0.0334 mg/kg). This is probably due to the contact of the plants aerial parts with atmospheric through falls rather than Hg migration from the soil. The Hg content in the samples of edible mushrooms studied was 3.5 times higher than in the soil. The vegetative mycelium on which their fruiting bodies are formed is located inside the feeding substrate and does not directly come in contact with atmospheric deposition. Therefore, mushrooms become Hg concentrators. The highest accumulation rates belonged to *Macrolepiot aprocera*, *Russula delica*, *Lactarius torminosus* and *Agaricus arvensis*, but all the Hg content values obtained were within the maximum permissible concentration.

Keywords: woody plants, forest vegetation, monitoring, toxic elements, natural environments, soils, mercury, mushrooms.

Ртуть является одним из важнейших токсичных элементов. Она входит в четвёрку элементов – As, Cd, Hg, Pb – на содержание которых подлежат исследованию практически все пищевые продукты. Природным источником Hg являются вулканы, которые во время извержений дают примерно половину поступления этого элемента в атмосферу. Вторая половина выбросов Hg имеет антропогенный характер. Основную долю в ней составляют выбросы от сгорания угля, добычи золота, выплавки цветных металлов, производства цемента, утилизации мусора, производства соды и т. п. [1]. В связи с этим одним из важнейших аспектов оценки экологического состояния территории является определение содержания Hg в почве и биологических объектах [2, 3]. Хотя в технологии уничтожения химических боеприпасов соединения Hg непосредственно не присутствовали, содержащие её отходы (приборы, утратившие потребительские свойства ртутные лампы, термометры и т. п.) на предприятии имелись. Этим определяется актуальность выбранного направления исследований.

Целью настоящей работы было изучение содержания Hg в почве и биологических объектах зоны защитных мероприятий (ЗЗМ) объекта УХО в окрестностях станции Леонидовка Пензенской области.

Объекты и методы

Отбор проб почвы и биоматериала производился в ЗЗМ объекта УХО на территории

Пензенского района, а для сравнения – в лесных массивах Шемышейского и Городищенского районов Пензенской области, удалённых от объекта не менее чем на 50 км. Всего было проанализировано 30 образцов серой лесной почвы с учётом почвенных разновидностей, 18 образцов древесных растений и 45 образцов грибов.

Измерения проводились на базе Федерального государственного учреждения государственного центра агрохимической службы «Пензенский», с использованием анализатора Hg «Юлия-2». Он предназначен для определения массовой концентрации Hg в природной и сточной воде, в вытяжках различных объектов (сырьё, пищевые продукты, почва, воздух и т. д.) Низкие пределы обнаружения Hg на уровне единиц мг/кг позволяют проводить фоновый контроль почв и пищевых продуктов на соответствие нормам ПДК [4–6].

Для определения характера накопления Hg использовался такой показатель, как коэффициент накопления (КН), представляющий собой отношение содержания химического элемента в биологическом объекте к таковому в питающем субстрате. Если КН оказывается ниже 1, то объект не является биоаккумулятором изучаемого элемента, если – выше 1, то это значит, что биоаккумуляция имеет место.

Результаты и их обсуждение

Территория ЗЗМ представляет собой находящуюся под лесной растительностью

площадь. Леса представлены преимущественно лиственными насаждениями различного возраста с преобладанием берёзы повислой и липы сердцевидной, с участием дуба черешчатого, осины и сосны. В зоне защитных мероприятий объекта УХО преобладают различные подтипы серых лесных почв, которые отличаются друг от друга по содержанию органического вещества и гранулометрическому составу.

Как показали наши исследования, среднее содержание Hg в серых лесных почвах района исследований составило 0,019 мг/кг, т. е. 0,039 от значения ПДК, которое составляет 2,1 мг/кг. Сравнение результатов измерений по различным разновидностям рассматриваемых почв, в зависимости от содержания органического вещества и гранулометрического состава, наблюдаемых для мышьяка, свинца и кадмия, выявлено не было [7–9]. Максимальные и минимальные показатели выражаются близкими значениями. Это указывает на то, что распределение содержания Hg в серых лесных почвах имеет достаточно равномерный характер.

Для сравнения содержания Hg в серых лесных почвах ЗЗМ с таковым в почвах других административных районов Пензенской области – Городищенского и Шемышейского, удалённых от объекта УХО – были проведены отбор и анализ проб (рис. 1). Полученные результаты выражались близкими значениями. Минимальный показатель был получен для Пензенского района, т. е. для ЗЗМ объекта УХО (рис. 1).

Как показали результаты измерений, среднее содержание Hg в древесных растениях в ЗЗМ объекта УХО составило 0,0334 мг/кг. Это в 1,75 раза выше, чем таковое в серых лесных почвах, на которых они произрастали. Однако объяснять этот факт результатом биоаккумуляции из почвы, на наш взгляд, представляется неверным, так как основным источником поступления Hg в растения являются атмосферные выпадения. Надземные же части древесных растений максимально контактируют с ними.

Как показал анализ концентрации Hg в различных частях растений, её содержание

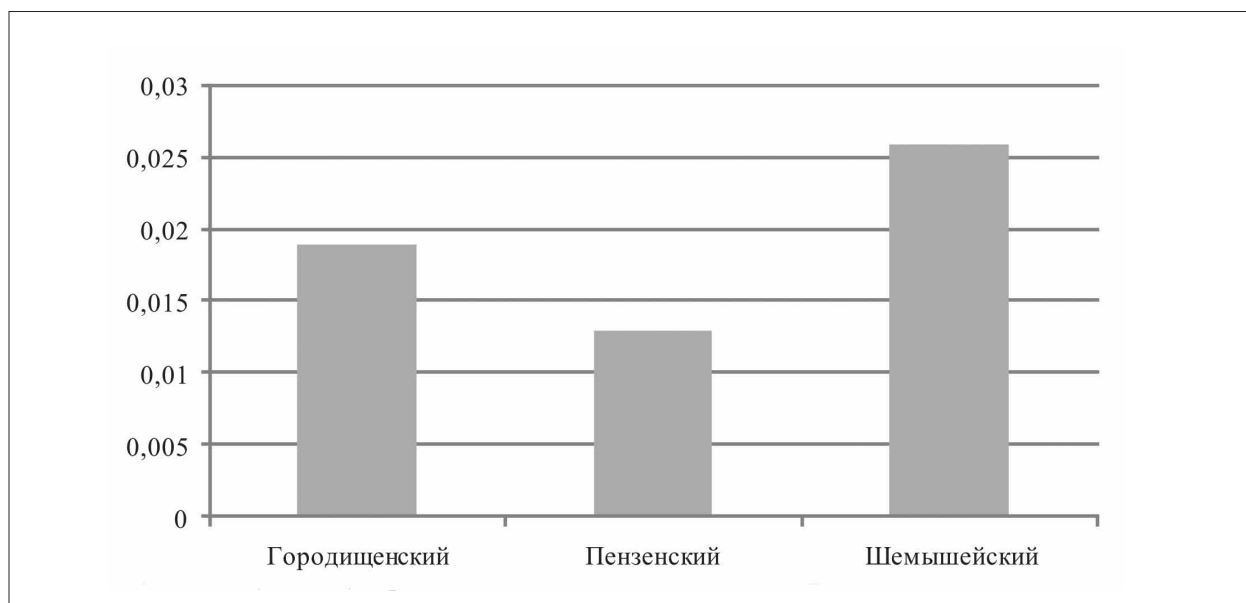


Рис. 1. Содержание Hg в серых лесных почвах в различных районах Пензенской области, мг/кг

Таблица 1

Содержание Hg в древесных растениях, мг/кг

Виды деревьев	Части растений				Средний показатель
	листья	кора	древесина		
			стволов	корней	
Берёза повислая	0,0140±0,0003	0,0225±0,0003	0,0125±0,0003	0,0012±0,0003	0,0126
Дуб черешчатый	0,0135±0,0003	0,0240±0,0003	0,0125±0,0003	0,0014±0,0003	0,0129
Сосна обыкновенная	0,0100±0,0003	0,0125±0,0003	0,0084±0,0003	0,0009±0,0003	0,0079
Средний показатель	0,0125	0,0200	0,0111	0,0012	0,0112

выражается разными показателями (табл. 1). Минимальное содержание зафиксировано в листьях. Это объясняется тем, что они живут недолго и ежегодно возобновляются, т. е. в них находится столько Hg, сколько выпало за сезон. Количество Hg в атмосферных выпадениях не является постоянным. Оно зависит от вулканической деятельности, которая является периодически действующим фактором. В период извержений содержание Hg в атмосферных выпадениях, и соответственно в листьях, сорбирующих их, станет возрастать. Однако проявляться это будет только при соответствующем направлении ветров. Антропогенное же загрязнение будет оказывать влияние локально, т.е. в непосредственной близости от его источников. Поэтому при нормальной экологической ситуации наименьшее содержание Hg в листьях оказывается вполне объяснимым. Периодическое же повышение его будет определяться указанными выше факторами.

Максимальное содержание Hg определено в коре. Она, как и листья, соприкасается с атмосферными выпадениями, однако в отличие от них не возобновляется ежегодно и аккумулирует в себе Hg и другие поллютанты в течение многолетнего периода. В древесине стволов содержание изучаемого элемента было несколько ниже, чем в коре, хотя выражалось близкими значениями. Вероятно, Hg проникает в древесину ствола путем диффузии. Это подтверждается тем фактом, что древесина корней содержит её в значительно меньших количествах.

Как показывает сравнение данных по различным древесным породам, отдельные их виды накапливают Hg в разных количествах. Максимальное суммарное содержание изучаемого элемента характерно для дуба, минимальное – для сосны. Берёза занимает среднее положение (рис. 2).

Определённые видовые отличия имеются и в характере накопления Hg в отдельных частях растений. В листьях дуба и берёзы содержание Hg выражается близкими значениями. В хвое её содержится несколько меньше. Вероятно, это связано с тем, что листья лиственных деревьев поглощают больше атмосферной влаги, т. к. имеют большую сорбционную поверхность по сравнению с хвоей.

Минимальное содержание Hg в коре зафиксировано для сосны, максимальное – для дуба. Берёза занимает среднее положение. Это может быть связано с тем, что кора дуба, содержащая большое количество отмерших

паренхиматозных клеток феллодермы, обладает большей поглощающей способностью по сравнению с корой берёзы и сосны, в составе которых больше феллемы или пробки, обладающей гидрофобными свойствами. Кроме того, особенностью покровной ткани сосны является то, что её верхняя часть в процессе роста дерева частично слущивается, и это способствует потере части накопившихся в ней веществ.

Минимальное содержание Hg в древесине стволов также было отмечено у сосны. У дуба и берёзы оно оказалось одинаковым, несмотря на различия её содержания в коре. Вероятно, это связано с тем, что в твёрдую древесину дуба Hg диффундирует из коры менее активно, чем в мягкую древесину берёзы. Распределение концентраций Hg в древесине корней различных древесных пород выражается близкими значениями. Однако минимальное содержание было также отмечено для сосны.

Содержание Hg в исследованных образцах съедобных грибов оказалось в 3,5 раза выше, чем в почве. Вегетативный мицелий, на котором образуются их плодовые тела, находится внутри питающего субстрата и не контактирует непосредственно с атмосферными выпадениями. Поэтому грибы оказываются концентраторами Hg. Однако все полученные значения находятся в пределах ПДК для съедобных грибов [5] и сопоставимы с данными других исследователей [10–12] (табл. 2).

В связи с тем, что в качестве питающего субстрата грибы используют не только почву, но и другие органические материалы, они разделяются на ряд трофических групп:

Симбиотрофы – развиваются в верхнем слое почвы и получают органические вещества от древесных растений через определённую симбиотическую структуру микоризы.

Ксилотрофы – развиваются на отмершей древесине и питаются за счет содержащихся в ней лигнина и целлюлозы.

Напочвенные сапротрофы – используют органические вещества лесной подстилки и верхнего слоя почвы.

В накоплении Hg грибами различных трофических групп проявляются определённые особенности. Наиболее высокое содержание Hg было зафиксировано в древесных субстратах, на которых развиваются ксилотрофы. Однако среднее содержание изучаемого элемента в их плодовых телах было минимальным, т.е. КН у всех изученных видов оказались менее 1. У симбиотрофов и напочвенных сапротрофов они были значительно выше.

Таблица 2

Содержание Hg в плодовых телах базидиальных макромицетов различных трофических групп, мг/кг сухого веса

Виды грибов и трофические группы	Содержание Hg, мг/кг сухого веса		
	плодовые тела	субстрат	КН
Белый гриб обыкновенный	0,0267±0,0004	0,0121±0,0003	2,21
Волнушка розовая	0,0432±0,0004	0,0111±0,0003	3,89
Берёзовик обыкновенный	0,0289±0,0004	0,0110±0,0003	2,63
Подгруздок белый	0,0503±0,0004	0,0121±0,0003	4,16
Маслёнок поздний	0,0368±0,0004	0,0110±0,0003	3,35
Симбиотрофы (средние показатели)	0,0371	0,0114	3,24
Опёнок осенний	0,0372±0,0004	0,0409±0,0004	0,91
Опёнок летний	0,0463±0,0004	0,0482±0,0004	0,96
Чага	0,0379±0,0004	0,0681±0,0004	0,56
Трутовик серно-жёлтый	0,0403±0,0004	0,0871±0,0004	0,46
Вешенка устричная	0,0473±0,0004	0,0823±0,0004	0,58
Ксилотрофы (средние показатели)	0,0418	0,0653	0,64
Шампиньон полевой	0,0477±0,0004	0,0123±0,0003	3,89
Шампиньон клубневой	0,0380±0,0004	0,0110±0,0003	3,39
Шампиньон двукольцовый	0,0433±0,0004	0,0140±0,0003	3,05
Рядовка серая	0,0383±0,0004	0,0120±0,0003	3,19
Зонтик высокий	0,0494±0,0004	0,0110±0,0003	4,45
Напочвенные сапротрофы (средние показатели)	0,0433	0,0121	3,56
Средние показатели	0,0407	0,0296	2,48
ПДК	0,05	2,1	–

Среди изученных видов грибов, используемых в пищу, наиболее высокие КН (более 3,5) имели: зонтик высокий, подгруздок белый, волнушка розовая и шампиньон полевой. Однако все значения находились в пределах ПДК. Это указывает на то, что при локальном загрязнении почв Hg плодовые тела этих видов, в первую очередь, могут представлять потенциальную опасность для здоровья.

Выводы

1. Среднее содержание Hg в серых лесных почвах района исследований очень низкое и составляет 0,019 мг/кг, т. е. 0,039 от значения ПДК.

2. Зависимости концентраций Hg от содержания органического вещества и гранулометрического состава различных разновидностей серых лесных почв выявлено не было, т. е. распределение содержания Hg в серых лесных почвах имеет достаточно равномерный характер.

3. Среднее содержание Hg в древесных растениях составило 0,0334 мг/кг. Это значение в 1,75 раза выше, чем таковое в серых лесных почвах, на которых они произрастают. Однако

объяснять этот факт результатом биоаккумуляции из почвы, на наш взгляд, представляется неверным, так как основным источником поступления Hg в растения являются атмосферные выпадения, с которыми контактируют надземные части древесных растений.

4. Содержание Hg в исследованных образцах съедобных грибов в 3,5 раза выше, чем в почве. Вегетативный мицелий, на котором образуются их плодовые тела, находится внутри питающего субстрата и не контактирует непосредственно с атмосферными выпадениями, таким образом грибы являются концентраторами Hg.

5. Грибы различных трофических групп накапливают Hg не одинаково. Минимальные коэффициенты накопления (КН менее 1) имеют ксилотрофы. У симбиотрофов и напочвенных сапротрофов они значительно выше.

Литература

1. Химическая энциклопедия: в 5 т. / Под ред. Н.С. Зефирова. Москва: Советская энциклопедия, 1995. Т. 4. С. 639.
2. Ашихмина Т.Я. Научно-методические основы комплексного мониторинга окружающей среды в районе объектов хранения и уничтожения химического оружия //

Теоретическая и прикладная экология. 2007. № 2. С. 23–35.

3. Юргенсон Г.А., Солодухина М.А., Смирнов А.А. К проблеме биологического поглощения токсичных химических элементов растениями в природных и геотехногенных системах // Вестник МАНЭБ. 2009. Т. 14. № 3. С. 110–113.

4. МИ 2740-2002. Рекомендация. ГСИ. Массовая доля общей ртути в пищевых продуктах и продовольственном сырье. Методика выполнения измерений атомно-абсорбционным методом.

5. СанПиН 42-123-4089-86 Предельно допустимые концентрации тяжёлых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах (утв. Главным санитарным врачом СССР 31.03.1986 № 4089-86). 1986. 17 с.

6. Трахтенберг И.М., Коршун М.Н. Ртуть и её соединения в окружающей среде (гигиенические и экологические аспекты) / Под ред. И. М. Трахтенберга. Киев: Выща шк., 1990. 232 с.

7. Горохова А.Г., Иванов А.И., Скобанева О.В. Биоиндикация почв, загрязнённых мышьяком и тяжёлыми металлами // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2013. Т. 1. № 9 (13). С. 39–47.

8. Горохова А.Г. Распределение тяжёлых металлов (Cu, Zn, Ni, Pb) и мышьяка (As) в природных средах и биологических объектах правобережной части водосборной площади Пензенского водохранилища: Автореф. ... канд. биол. наук. Пенза, 2013. 21 с.

9. Иванов А.И., Костычев А.А. Фоновое содержание некоторых тяжёлых металлов в серых лесных почвах // Мониторинг природных экосистем: Сборник статей четвертой Всероссийской научно-практической конференции. Пенза, 2010. С. 166–169.

10. Svoboda L., Zimmermannova K., Kalac P. Concentrations of mercury, cadmium, lead and copper in fruiting bodies of edible mushrooms in an emission area of a copper smelter and a mercury smelter // The Science of the Total Environment. 2000. P. 61–67.

11. Demirbas A. Concentration of 21 metals in 18 species of mushroom growing in the East Black Sea region // Food Chemistry. 2001. V. 75. P. 453–457.

12. Ita B.N., Essien J.P., Ebong G.A. Heavy metal levels in fruiting bodies of edible and non-edible mushrooms from the Delta Region of Nigeria // Journal of Agriculture & Social Sciences. 2006. No. 2. P. 84–87.

References

1. Chemical Encyclopedia: in 5 vol. / Red. N.S. Zefirov. Moskva: Sovetskaya Entsiklopediya, 1995. T. 4. 639 p. (in Russian).

2. Ashikhmina T.Ya. Scientific and methodological bases of complex environmental monitoring in the area of storage and destruction of chemical weapons // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2007. No. 2. P. 23–35 (in Russian).

3. Juergenson G.A., Solodukhina M.A., Smirnov A.A. The problem of biological absorption of toxic chemical elements by plants in natural and geotechnical systems // Vestnik MANEB. 2009. T. 14. No. 3. P. 110–113 (in Russian).

4. MI 2740-2002. Recommendation. GSI. Mass fraction of total mercury in food products and food raw materials. Method of performing measurements by atomic absorption method (in Russian).

5. SanPiN 42-123-4089-86 The maximum permissible concentrations of heavy metals and arsenic in food raw materials and foodstuffs (approved by the Chief Sanitary Doctor of the USSR on March 31, 1986, No. 4089-86). 1986. 17 p. (in Russian).

6. Trakhtenberg I.M., Korshun M.N. Mercury and its compounds in the environment (hygienic and environmental aspects) / Red. I.M. Trakhtenberg. Kiev: Vysshaya shkola, 1990. 232 p. (in Russian).

7. Gorokhova A.G., Ivanov A.I., Skobaneva O.V. Bioindication of soils polluted with arsenic and heavy metals // XXI century: results of the past and problems of the present plus. 2013. T. 1. No. 9 (13). P. 39–47 (in Russian).

8. Gorokhova A.G. Distribution of heavy metals (Cu, Zn, Ni, Pb) and arsenic (As) in natural media and biological objects on the right-bank part of the catchment area of the Penza reservoir: Avtotref. ... dis. kand. biol. nauk. Penza, 2013. 21 p. (in Russian).

9. Ivanov A.I., Kostychev A.A. Background content of some heavy metals in gray forest soils // Monitoring of natural ecosystems: Sbornik trudov Chetvertoy vserossiyskoy nauchnoy i prakticheskoy konferentsii. Penza, 2010. P. 166–169 (in Russian).

10. Svoboda L., Zimmermannova K., Kalac P. Concentrations of mercury, cadmium, lead and copper in fruiting bodies of edible mushrooms in an emission area of a copper smelter and a mercury smelter // The Science of the Total Environment. 2000. P. 61–67.

11. Demirbas A. Concentration of 21 metals in 18 species of mushroom growing in the East Black Sea region // Food Chemistry. 2001. V. 75. P. 453–457.

12. Ita B.N., Essien J.P., Ebong G.A. Heavy metal levels in fruiting bodies of edible and non-edible mushrooms from the Delta Region of Nigeria // Journal of Agriculture & Social Sciences. 2006. No. 2. P. 84–87.