

МАКРОМИЦЕТЫ КАК БИОИНДИКАТОРЫ РТУТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ

Малов А.М., Луковникова Л.В., Щеголихин Д.К.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Институт токсикологии Федерального медико-биологического агентства»,
192019, Санкт-Петербург, ул. Бехтерева, д. 1,
Тел/факс: (812) 365-06-80, e-mail: institute@toxicology.ru*

Резюме

В статье представлены данные о содержании ртути в плодовых телах макромицетов, произрастающих в импактной, буферной и фоновой зонах Санкт-Петербурга. Определение металлов производили атомно-абсорбционным методом. Установлено, что грибы аккумулировали ртуть из почвы, при этом макромицеты, произрастающие в импактной зоне, содержали большее количество металлов, чем грибы из буферной и фоновой зон. Данные по содержанию ртути в базидиомах дают представление о контаминированности этим металлом почвы, на которой они произрастают, и позволяют оценить степень экологической безопасности в отношении ртути. Полученные данные могут быть применены при экологическом мониторинге.

Ключевые слова: ртуть, макромицеты, почва, Санкт-Петербург, окружающая среда

MACROMYCETS AS BIOINDICATORS OF MERCURY POLLUTION OF THE URBANIZED TERRITORY

Malov A. M., Lukovnikova L.V., Shchegolikhin D. K.

«Institute of Toxicology» of Federal Medico-Biological Agency, Saint-Petersburg, Russia

Abstract

The article presents experimental work on quantitative determination of content of mercury in some macromycetes on the territory of Saint-Petersburg and the surrounding area. The content of the element in the mushrooms was determined using the method of atomic absorption spectrometry. The research carried out showed that mushrooms accumulate mercury. Concentration of heavy metal in the mushrooms of impact zone is higher what in the mushrooms of suburbs of megalopolis. The experimental data on the content of mercury in the basidioms give an idea of the extent and nature of the contamination of the soil with these metals on the territory of the growth of mushroom, and make it possible to assess the ecological mercury safety of the environment. The research findings can be used for ecological monitoring.

Key words: mercury, macromycetes, soil, Saint-Petersburg, environment

Введение

Качество окружающей среды, как актуальная проблема, привлекает все большее внимание мирового сообщества. Негативное антропогенное вмешательство в природные экосистемы приводит к ухудшению качества жизни и росту заболеваемости населения. Контроль над объектами окружающей среды многофакторная задача, которая требует привлечения специалистов различных научных дисциплин, многообразия методических подходов. Анализ экологической ситуации теснейшим образом связан с проблемой контаминированности окружающей среды токсичными и опасными металлами, такими как свинец, ртуть, кадмий, никель и другие. Ртуть в этой группе металлов занимает особое место вследствие высокой токсичности и опасности этого металла и его соединений для человека. Необходимость и актуальность этого направления исследований отражена в Базельской Конвенции 2011 года [1] и Конвенции Минамата, ратифицированной Российской Федерацией 24 сентября 2014 г. [2]. Конвенция Минамата (Minamata Convention on Mercury) — межгосударственный договор, направленный на защиту здоровья людей и окружающей среды от антропогенных выбросов и высвобождений [ртути](#) и её соединений, которые могут приводить к [отравлениям](#). Согласно Конвенции, правительства стран, являющиеся ее Сторонами, должны принимать ряд мер по предотвращению развития неблагоприятных последствий для здоровья населения: ограничивать выделение ртути в воздух благодаря использованию «чистых» технологий без сжигания угля, избегать при производстве использования ртутьсодержащих изделий, прекращать применять ртуть при добыче золота и других металлов. В статье 16 Конвенции отражены такие положения, как разработка и осуществление учебных и профилактических программ для защиты населения, относящегося к группе риска, просвещение общественности, повышение качества оказания медицинской помощи, профилактика и диагностика действия ртути и ее соединений. В конвенции Минамата, работах отечественных и зарубежных исследователей подчеркивается, что ртуть является химическим веществом, вызывающим обеспокоенность в глобальном масштабе вследствие ее переноса в атмосфере на большие расстояния, стойкости в окружающей среде, способности к биоаккумуляции в экосистемах, высокой токсичности и опасности ртути и ее соединений для человека [2–6].

Источники поступления неорганических соединений ртути в окружающую среду разделяются на природные и антропогенные. Основным природным источником поступления ртути в среду обитания человека является естественный процесс ее

испарения из земной коры в количестве от 2700 до 6000 тонн ежегодно [6,7]. К антропогенным источникам ртути в атмосфере относятся: производство ртути, хлора, сжигание всех видов топлива, коксохимические предприятия, цветная металлургия, применение ртути в судостроении и машиностроении [3,5–7]. На предприятиях металлургии в атмосферный воздух выделяется от 5 до 7% ртути от общего объема получаемого металла. При производстве 1 тонны черновой меди в воздух атмосферы выбрасывается около 2,09 тонн аэрозолей с содержанием до 4% ртути [3,6]. Ситуация такова, что считавшиеся ранее экологически чистыми районы Крайнего Севера становятся опасными для проживания [8,9].

Источниками поступления органических соединений ртути (ОСР) в окружающую среду являются предприятия химической промышленности, синтез и применение ртутьорганических пестицидов. Еще одним источником образования ОСР в объектах окружающей среды является процесс метилирования неорганической ртути в почве, донных отложениях озер, рек и других водоемов, с включением в трофические цепи и концентрированием по мере продвижения от низших к высшим трофическим уровням, с наибольшим накоплением в рыбе [10–13]. Попадая в атмосферный воздух, водоемы и почву органические соединения ртути представляют реальную угрозу для окружающей среды и здоровья человека.

В связи с этим анализу содержания ртути в биологических средах, продуктах питания, объектах окружающей среды посвящается большое количество публикаций, которые подтверждают актуальность и необходимость этого направления исследований. Появляются все новые данные о выявленной загрязненности ртутью территорий с одной стороны, и факты негативного влияния ртути и ее соединений на здоровье более низких, чем считалось прежде концентраций ртути с другой [14–16].

В организм человека ртуть и ее соединения поступают в виде паров металлической ртути, а также ее неорганических и органических соединений. В производственных условиях наибольшее значение имеет ингаляция ртути и ее соединений в виде паров и аэрозолей. В зависимости от условий труда при контакте с парами ртути в организм человека за сутки может поступать до 30 мкг ртути [5,7].

Основными путями поступления в организм человека ОСР являются пероральный и ингаляционный. Пищевыми источниками поступления ОСР в организм человека являются продукты питания, в основном рыба и морепродукты.

При ингаляции паров и аэрозолей ассимилируется примерно 80% поступившей в организм ртути [7]. При оральном поступлении соединения ртути усваиваются в зависимости от их химического строения. Известно, что неорганические формы хуже всасываются в желудочно-кишечном тракте, чем органические. [3,6,7].

Для ОСР характерно наличие выраженного раздражающего действия на кожу (вплоть до некроза при непосредственном контакте), а также кожно-резорбтивного действия с последующим развитием интоксикации. Имеются указания на развитие состояния повышенной чувствительности у рабочих, контактирующих с ОСР, в виде дерматитов и аллергических отеков [10–13].

Таким образом, наличие ртути и ее соединений в объектах окружающей среды и как следствие возможность их поступления в организм человека требуют постоянного контроля над содержанием этого опасного металла в окружающей среде и биосредах организма. В связи с этим контроль над содержанием ртути в объектах окружающей среды и биосредах организма приобретает важнейшее значение. Очевидно, что оценить контаминированность окружающей среды ртутью представляется достаточно сложной задачей из-за многообразия объектов окружающей среды и непостоянства их параметров. Одним из подходов к решению этой проблемы может служить оценка контаминированности поверхностного почвенного слоя и произрастающих на ней макромицетов [17]. Почва является своего рода накопителем и интегратором многих контаминантов, в том числе и ртути. В этой связи наиболее доступным и информативным представляется способ оценки контаминированности почвенного слоя (грунта) ртутью путем оценки содержания ртути в плодовых телах макромицетов, включающих в свои обменные процессы ртуть и ее соединения.

Целью настоящего исследования был анализ результатов определения содержания ртути в плодовых телах макромицетов (далее – грибы), произрастающих на территории Санкт-Петербурга, его пригородов и Ленинградской области и сопоставление с ранее полученными данными для этих же территорий.

Методы исследования

В качестве объекта исследования были выбраны плодовые тела макромицетов, произрастающих на открытых почвенных участках: газоны, бульвары, парки, скверы, и т.д. Большинство грибов классифицированы до уровня вида, остальные до уровня семейства. Были исследованы представители из следующих грибных семейств –

Agaricaceae, Boletaceae, Russulaceae, Coprinaceae [18]. Грибы собирали в стадии спороношения, в весенне-летне-осенний период с 2002 по 2017 год.

Определение ртути в грибах выполняли атомно-абсорбционным методом на специализированных анализаторах ртути. По результатам исследования относительное среднее квадратическое отклонение не превышало 15%. Для анализа использовали целый гриб (ножку и шляпку) или радиальный сегмент плодового тела. Статистическая обработка результатов исследования выполнена с помощью программы Biostat [19].

Результаты и их обсуждение

Места сбора грибов были условно разделены на три зоны: собственно застроенная часть города с жилыми домами и предприятиями – импактная (1), пригородная часть, не освоенная массовой застройкой территория и города-спутники – буферная (2), озелененные территории районов Ленинградской области – фоновая (3). В таблице 1 представлены результаты содержания ртути в грибах, собранных в перечисленных зонах. Полученные результаты сопоставляли с допустимыми уровнями содержания ртути в грибах [20].

Таблица 1. Содержание ртути в грибах, произраставших в различных зонах
(в мг/кг, вл.в)

Зона экологической нагрузки*	Число образцов	Среднее содержание ртути	СОС	Медиана	Минимальное значение в выборке	Максимальное значение в выборке	Допустимый уровень содержания ртути в грибах (мг/кг, не более) [20]
1(импактная)	13	0,506	0,116	0,424	0,001	1,278	0,05
2(буферная)	22	0,32	0,050	0,018	0,006	0,996	
3(фоновая)	21	0,028	0,005	0,024	0,002	0,0826	
Примечание - СОС – средняя ошибка среднего							

Анализ данных таблицы 1 свидетельствует о значительной ртутной загрязненности импактной зоны Санкт-Петербурга, и даже в ближайших пригородах (зона 2) в почве, судя по концентрации ртути в грибах, содержится значительное количество ртути, превышающее допустимый уровень от 6,5 до 199 раз. В

районах Ленинградской области в среднем содержание ртути в грибах не превышает допустимых уровней [20]. В то же время нужно отметить достаточно широкий диапазон содержания ртути в грибах в каждой из выделенных зон. Во-первых, это свидетельствует об условном выделении зон определяемой экологической нагрузки. Во-вторых, ртутная контаминированность в каждой из зон имеет неравномерный характер, можно судить встречаются участки с достаточно высоким и очень низким содержанием ртути. Например, при определении ртути в грибах, собранных на территории одного из городов-спутников Санкт-Петербурга было установлено, что макромицеты, собранные на привокзальной площади в центре города, содержали 0,150 мг/кг, в парковой зоне – 0,015 мг/кг, на территории больницы – 0,090 мг/кг. Представляются неожиданными данные о высоком содержании ртути в грибах, собранных на территории лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ) независимо от зоны экологической нагрузки. В парковой территории двух ЛПУ, расположенных в центре города (зона 1), собраны грибы, содержащие – 1,55 мг/кг и 1,17 мг/кг ртути. В пригородной зоне (2) также в парках ЛПУ собраны грибы с содержанием ртути от 0,288 мг/кг до 0,090 мг/кг. Объяснение этому факту, по-видимому, следует искать в обращении с ртутьсодержащими устройствами, инструментами и препаратами в этих учреждениях. Известно, что долгое время в медицинских учреждениях использовали устройства, содержащие в значительных количествах ртуть: сфигмоманометры (аппараты для определения артериального давления), ртутные термометры, бактерицидные лампы и лампы дневного света.

О масштабах ртутной контаминации (загрязненности) свидетельствуют результаты анализа грибов, собранных в 2017 году на одной из озелененных улиц в промышленном районе Санкт-Петербурга. В трех точках, отстоящих друг от друга примерно на 100 м, были собраны и проанализированы на содержание ртути грибы (*Coprinus comatus*). Были получены следующие значения содержания ртути – 0,61 мг/кг, 0,83 мг/кг и 0,35 мг/кг.

Выполненные исследования свидетельствуют о том, что ртутная контаминация носит не только генерализованный, но и устойчивый характер. Об этом можно судить по результатам, полученным на протяжении 15-ти лет исследования. В ходе эксперимента были собраны и проанализированы грибы (*Coprinus comatus*) на одной и той же озелененной площадке в промышленной части города. В 2002 году в грибах было обнаружено 1,297 мг/кг. В 2004 – 2005 гг. была произведена частичная рекультивация поверхностного почвенного слоя путем завоза торфа. Грибы, собранные после этой обработки почвы содержали гораздо меньше ртути – 0,145 мг/кг, однако исследования

грибов (*Coprinus comatus*), собранных через 12 лет (в 2017 г.) показали, что содержание ртути в них увеличилось до 0,608 мг/кг. Сопоставление полученных данных с данными, опубликованными в 2004 году, свидетельствует о постоянном нахождении ртути в почве и, как следствие, обнаружение ртути в грибах, что подтверждает мнение специалистов об устойчивой ртутной контаминированности территории Санкт-Петербурга [21]. Интересно, что загрязненность территории Санкт-Петербурга мало отличается от загрязненности территорий других городов, где также обнаружено высокое, по сравнению с допустимым уровнем, содержание ртути в грибах [22].

Мицелий, пронизывая почвенный слой, простирается на сотни квадратных метров, концентрирует в числе прочих компонентов ртуть и ее соединения, что находит свое отражение при обнаружении ртути в плодовых телах макромицетов. Как показывают результаты собственных исследований, совпадающие с мнением других авторов, грибы могут служить биоиндикаторами ртутного загрязнения почвы как объекта окружающей среды [23–27].

Безусловно, выявление ртутной контаминированности территорий важно для оценки экологического состояния того или иного региона, не меньший интерес оно представляет в свете определения зависимости загрязнения объектов окружающей среды ртутью и накоплением ее в организме людей. В качестве примера можно процитировать данные Ларионовой Т.К. о повышении в течение двух лет содержания ртути в крови у лиц, проживающих в условиях загрязнения окружающей среды ртутьсодержащими отходами. Автор обратил внимание на увеличение ртути в крови обследованных лиц, с 0,5 мкг/дм³ в 1997 году до 8,78 мкг/дм³ в 1999 году после возобновления работы золотоперерабатывающего предприятия [28]. Подобных примеров о зависимости загрязнения объектов окружающей среды ртутью и обнаружением ртути и ее соединений в организме лиц, составляющих группу риска ртутной контаминации, появляется все больше, что подтверждает необходимость постоянного динамического контроля над объектами окружающей среды [6,12,15,16].

Заключение

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что макромицеты можно использовать как чувствительные индикаторы загрязнения территории мегаполиса или региона ртутью. Результаты выполненного исследования позволяют сделать заключение о высокой и устойчивой контаминированности территории Санкт-Петербурга и его ближайших пригородов ртутью, содержание которой в объектах окружающей среды (грибах) может представлять реальную опасность для здоровья населения. Значительное содержание ртути в грибах, собранных на территории мегаполиса требует внимания со стороны контролирующих структур и информированности населения о существующей опасности потребления грибов, собранных на загрязненных территориях.

Исследование выполнено без спонсорской поддержки.

Конфликт интересов отсутствует.

Литература

1. Cartagena Declaration on the Prevention, Minimization and Recovery of Hazardous Wastes and Other Wastes. Cartagena, Colombia, 2011.
2. Minamata convention on mercury. Text and annexes. [Electronic resource] // Mercury. URL: <http://www.mercuryconvention.org/Portals/11/documents/Booklets/COP1%20version/Minamata-Convention-booklet-eng-full.pdf> (accessed: 16.06.2018).
3. Трахтенберг И.М., Коршун М.Н. Ртуть и ее неорганические соединения. // Обзоры научной литературы по токсичности и опасности химических веществ. – М. : Центр Международных Проектов. – 1998. – № 128. – С. 112.
4. Луковникова Л.В., Фролова А.Д., Чекунова Л.П. Металлы в окружающей среде, проблемы мониторинга // Эфферентная Терапия. – 2004. – Т. 10, № 1. – С. 74–79.
5. Сидорин Г.И. Ртуть как ксенобиотик (обзор литературы) // Вестник Санкт-Петербургской Государственной Медицинской Академии им. Мечникова. – 2001. – № 1. – С. 2.
6. Трахтенберг И.М., Коршун М.И., Козлов К.П. Ртуть как глобальный химический загрязнитель // Токсикологический Вестник. – 2006. – № 3. – С. 2–8.
7. Ершов Ю.А., Плетенева Т.В. Механизмы токсического действия неорганических соединений: Монография. / Ю.А. Ершов, Т.В. Плетенева. – М. : Медицина, 1989.

8. Загрязнение Арктики. программа по мониторингу и оценке окружающей среды Арктики. – Осло: АМАП, 2002. – 112 с.
9. Стойкие токсические вещества, безопасность питания и коренные народы российского Севера. – Осло: АМАП, 2004. – 79 с.
10. Луковникова Л.В., Сидорин Г.И., Аликбаева Л.А. Опасность острых и хронических отравлений органическими соединениями ртути // Профилактическая и клиническая медицина. – 2013. – №2(47). – С. 16-19.
11. Органические соединения ртути. МРПТХВ научные обзоры советской литературы по токсичности и опасности химических веществ. Программа ООН по окружающей среде. – М., 1989. – 68 с.
12. Метилртуть. Гигиенические критерии состояния окружающей среды. – Женева : ВОЗ, 1993. – 126 с.
13. Борисенко Н.Ф., Курчак Ю.А. Влияние ртутьорганических пестицидов на окружающую среду и здоровье населения. // Гигиена и санитария. – 1989. – № 12. – С.65-69.
14. Sobolev M.B. Exposure to mercury and its effect on children's Health // Epidemiology. – 1997. – Vol. 4. – P. 194-196.
15. Ильченко И.Н. Обзор исследований по оценке воздействия ртути на население в постсоветских странах с использованием данных биомониторинга человека // Здравоохранение Российской Федерации. – 2015. – № 59(1). – С.48-53.
16. Егоров А.И. Применение стандартизованной методологии биомониторинга человека для оценки пренатальной экспозиции к ртути / А.И. Егоров [и др.] // Гигиена и санитария. – 2014. – №5. – С.10-18.
17. Сазанова К.В., Великова В.Д., Столярова Н.В. [Накопление тяжелых металлов грибами. Экологическая и видовая специфичность, механизмы аккумуляции, потенциальная опасность для человека](#) // Medline.ru. – 2017. – Т.18. – С. 336-361
18. Грибы. Иллюстрированная энциклопедия. – СПб: ООО «СЗКЭО», 2011. – 160 с.
19. Stanton A. Glantz, McGraw-Hill. Primer of Biostatistics. Fourth edition. – New York, 1997. – 473 p

20. Гигиенические нормативы в окружающей среде. 2-е изд. доп. и перераб. / Под ред. Ю.А. Рахманина, В.В. Семеновой, А.В. Москвина. – СПб. : НПО «Профессионал», 2006. – 736 с.
21. Малов А.М., Александрова М.Л. Ртутное загрязнение грунта города Санкт-Петербурга. // Medline.ru. – 2009. – Т.10. – С. 188-197
22. Малов А.М., Степанов И.Ю. Ртуть как персистентный экотоксикант. // Труды II-го межд. симп. «Ртуть в биосфере: Эколого-геохимические аспекты». – Новосибирск, 2015. – С. 250-254.
23. Malov A.M., Petrov A.N., Semenov E.V. Mushrooms as indicators of mercury pollution. // The Complete Works of International Ecologic Forum. – St.-Petersburg, 2003. – P. 626
24. Бакайтис В.И., Басалаева С.Н. Содержание макро- и микроэлементов в дикорастущих грибах Новосибирской области // Техника и технология пищевых производств. – 2009. – 32. – С. 73-76.
25. Гордеева И.В. Перспективы использования высших базидиальных грибов в качестве тест-объектов для биоиндикации. // Международный научный журнал «Инновационная наука». Биологические науки. – 2015. – № 9. – С. 30-33
26. Kalač P., Svoboda L. A review of trace element concentrations in edible mushrooms // Food Chemistry. – 2000. – Vol. 69. – P. 273-281
27. Лескова О.А., Лесков А.П. Содержание макро- и микроэлементов в дикорастущих грибах Забайкальского края // Ученые записки Заб.ГУ. – 2017. – Т. 12, № 1. – С. 26-30.
28. Ларионова Т.К. Ртуть в организме людей в условиях загрязнения окружающей среды ртутьсодержащими промышленными отходами. // Медицина труда и промышленная экология. – 2000. – № 6. – С. 8-10.