

УДК 582.28(470.316-751.2)

АККУМУЛЯЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ГРИБАМИ НА ТЕРРИТОРИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ПЛЕЩЕЕВО ОЗЕРО»

А. Н. Пельгунов, Л. А. Пельгунова

*Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН
Россия, 119071, Москва, Ленинский просп., 33
E-mail: apelgunov@list.ru*

Поступила в редакцию 03.06.13 г.

Аккумуляция тяжелых металлов грибами на территории Национального парка «Плещеево озеро». – Пельгунов А. Н., Пельгунова Л. А. – Приводятся сведения о накоплении тяжелых металлов 4 видами грибов. Всего найдено 11 элементов. Наибольшее число металлов найдено у *Boletus edulis*, а наибольшее накопление отдельных элементов отмечено у *Paxillus involutus*. Небольшое количество металлов и их незначительная концентрация в грибах говорят о слабом антропогенном загрязнении данной местности.

Ключевые слова: тяжелые металлы, грибы, Национальный парк «Плещеево озеро».

Heavy metal accumulation by fungi in the National Park «Lake Pleshcheyevo». – Pelgunov A. N. and Pelgunova L. A. – The paper provides information of the accumulation of heavy metals by 4 fungi species. 11 elements were found in total. The greatest number of metals was found in *Boletus edulis*, and the highest accumulation of individual elements was noted in *Paxillus involutus*. The small amount of metals and their low concentration in the fungi speak of insignificant anthropogenic pollution of the area.

Key words: fungi, heavy metals, National Park «Pleshcheyevo lake».

ВВЕДЕНИЕ

В современный период окружающая среда и биосфера Земли под воздействием хозяйственной деятельности человека испытывают огромную многофакторную нагрузку, которая особенно возросла с середины 50-х гг. прошлого столетия, когда практически повсеместно в мире резко увеличились темпы индустриализации. В результате хозяйственной деятельности человека в биологические системы попадает значительное количество токсических веществ, наиболее опасными из которых для биосферы являются ионы тяжелых металлов. Список металлов, потенциально опасных даже в следовых количествах, очень большой (от лития до плутония). Количество, при котором некоторые тяжелые металлы становятся потенциально опасными для окружающей среды, зависит не только от степени загрязнения ими гидросферы или атмосферы, но и от химических особенностей металла и от деталей его биохимического цикла.

Среди живых организмов, населяющих экосистемы суши, базидиальные макромицеты обладают большой активной биоабсорбцией тяжелых металлов, тем самым включая их в биогеохимические циклы (Иванов и др., 2008). Грибы могут аккумулировать тяжелые металлы во много раз больше, чем в используемом субстрате. Причем разные виды грибов имеют свою специфику в накоплении тяжелых

металлов и мышьяка. Проведенные исследования показали, что эта специфика определяется биологическими особенностями видов грибов и условиями их произрастания (Щеглов, Цветнова, 2002). Высокая абсорбция тяжелых металлов делает грибы хорошими биоиндикаторами загрязнения ими обследуемой территории.

Национальный парк «Плещеево озеро» расположен в 130 км от Москвы в Переславском районе Ярославской области, практически в центре «Золотого кольца». Данный водоем и окружающие его леса являются историко-культурным достоянием России. Несмотря на то, что Национальный парк находится в густонаселенном месте, проведенные нами работы по изучению химического состава воды в озере и содержания тяжелых металлов в рыбах (Пельгунов, 2003), показали, что данное озеро незначительно загрязнено в результате антропогенного воздействия.

Цель данной работы – изучение загрязнения тяжелыми металлами наземных экосистем.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объект исследования – грибы (Царство грибы: Fungi; Basidiomycetes). Для анализа были взяты следующие виды грибов:

- 1) Белый гриб (*Boletus edulis*) – относится к симбиотрофам;
- 2) Подосиновик красноголовый (*Leccinum aurantiacum*) – относится к симбиотрофам;
- 3) Масленок обыкновенный (*Snillus luteus*) – относится к симбиотрофам;
- 4) Свинушка тонкая (*Paxillus involutus*) – относится к сапрофитам (на подстилке).

Все пробы грибов собирались на территории Национального парка «Плещеево озеро» в августе 2003 г., не ближе 3 – 4 км от шоссе дорог, в радиусе 3 – 5 км к западу от Плещеева озера. Лес смешанный, преобладает сосна, ель, местами осины, березы, в болотинах ивняк. Почва в основном дерново-подзолистая, встречаются болотные почвы. Бралась обобщенные пробы от 1.4 до 1.9 кг каждого вида. Пробы высушивали в сушильном шкафу при температуре 90 – 100°C до воздушно-сухой массы и измельчались.

Анализ содержания тяжелых металлов

Рентгенофлуоресцентная спектроскопия. Применение данного метода позволяет проводить быстрый одновременный анализ как главных, так и следовых элементов. Абсолютная чувствительность данного метода очень высока – в среднем 10^{-10} %. В то же время для проведения анализа не требуется сложной пробоподготовки: для биологических проб, например, достаточно простого высушивания. Возможно проведение неразрушающего анализа.

Образцы исследовались на спектрометре S2 PICOFOX (производитель Bruker AXS, Германия). Указанный прибор имеет генератор рентгеновского излучения, преобразуемого в однородное с помощью Ni/C многослойного монохроматора. Основное отличие от традиционного РФА метода – это использование монохроматического излучения и оптики для полного отражения. Основное преимущество

АККУМУЛЯЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ГРИБАМИ

TXRF метода – это отсутствие эффекта памяти, что позволяет проводить определение таких непроводящих элементов, как сера и фосфор.

Опτικο-эмиссионная масс-спектрометрия. Определение некоторых химических элементов, обнаружение которых невозможно методом, указанным выше по конструктивным причинам, проводилось с помощью оптико-эмиссионной масс-спектрометрии.

Работы проводились на ИСП спектрометре VISTA PRO с системой лазерной абляции SOLIS-500 (производитель Verian, Швейцария).

Установка позволяет проводить быстрое одновременное определение 75 элементов в пробе на уровне концентраций от десятых долей ppb ($\mu\text{g/l}$) до процента.

Для данного оборудования пробы предварительно растворялись в азотной кислоте ОСЧ на микроволновой установке высокого давления MARS (США) и далее анализировались как растворы.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Собранные и обработанные грибы исследовались на содержание следующих элементов (всего 24) – калий (K), кальций (Ca), титан (Ti), ванадий (V), хром (Cr), марганец (Mn), железо (Fe), кобальт (Co), никель (Ni), медь (Cu), цинк (Zn), мышьяк (As), рубидий (Rb), стронций (Sr), иттрий (Y), молибден (Mo), кадмий (Cd), олово (Sn), сурьма (Sb), вольфрам (W), осмий (Os), ртуть (Hg), свинец (Pb), висмут (Bi).

Результаты исследований представлены в таблице. Всего у обследованных видов грибов было обнаружено 11 элементов. Два из них относятся к элементам, на которые установлены ПДК (Санитарные правила и нормы, 2002). Это ртуть – 0.05 мг/кг сырой массы (с.м.) и свинец – 0.5 мг/кг с.м. Оба эти элемента были обнаружены только в белых грибах. Авторы пересчитали на сырой вес грибов количество найденных у них тяжелых металлов. Белый гриб содержит ртуть в количестве 0.02 мг/кг с.м., что значительно ниже ПДК, и свинец – 0.5 мг/кг, что не превышает ПДК. По количеству зарегистрированных элементов грибы располагаются следующим образом: белый гриб – 11 элементов; свинушка тонкая – 7; подосиновик красноголовый – 6; масленок – 5. Есть разница и в накоплении различных элементов. Так, белый гриб накапливает больше других грибов кальций (Ca), рубидий (Rb). Свинушка тонкая – калий (K), железо (Fe), цинк (Zn), стронций (Sr). Подосиновик красноголовый – медь (Cu). Масленок обыкновенный накапливает наименьшее число элементов, и их содержание в нем имеет средние значения.

Содержание тяжелых металлов в пробах шляпочных грибов,
мг/кг воздушно-сухой массы

Элемент	<i>Boletus edulis</i> (Белый гриб)	<i>Leccinum aurantiacum</i> (Подосиновик красноголовый)	<i>Suillus luteus</i> (Масленок обыкновенный)	<i>Paxillus involutus</i> (Свинушка тонкая)
1	2	3	4	5
Калий (K) $\pm 4.6\%$	313.5	342.7	324.09	394.5
Кальций (Ca) $\pm 4.2\%$	4.15	1.98	2.92	3.54

Окончание таблицы

1	2	3	4	5
Хром (Cr) $\pm 5.3\%$	0.06	–	–	–
Железо (Fe) $\pm 3.8\%$	0.33	1.21	0.45	2.03
Никель (Ni) $\pm 6.1\%$	0.02	–	–	–
Медь (Cu) $\pm 6.7\%$	0.053	0.063	–	0.016
Цинк (Zn) $\pm 5.3\%$	1.14	0.77	1.40	2.30
Рубидий (Rb) $\pm 8.1\%$	0.05	0.02	0.04	0.03
Стронций (Sr) $\pm 6.9\%$	0.007	–	–	0.04
Ртуть (Hg) $\pm 7.5\%$	0.002	–	–	–
Свинец (Pb) $\pm 4.9\%$	0.05	–	–	–

Необходимо отметить, что это ранжирование грибов по количеству и массе накопления тяжелых металлов относится только к данной территории. В других районах могут быть другие виды металлов и иное их количество в субстрате, что скажется на накоплении тяжелых металлов разными видами грибов.

ОБСУЖДЕНИЕ

Сильная вариабельность содержания тяжелых металлов в плодовых телах базидиальных макромицетов отчасти может быть объяснена эколого-трофическими особенностями и таксономической принадлежностью отдельных видов (Иванов и др., 2008), а определяющим фактором накопления тяжелых металлов в плодовых телах грибов является не тип леса, а степень загрязнения лесных местообитаний (Чураков и др., 2004).

У высших грибов наблюдается избирательность в накоплении металлов из почвы, хотя строгой корреляции между концентрацией в грибах и почве не обнаружено. Содержание тяжелых металлов в плодовом теле грибов варьирует в широких пределах. По сравнению с почвой в грибах обнаруживают в 30 – 500 раз больше таких металлов, как ртуть, кадмий, свинец и некоторые другие. По накоплению тяжелых металлов грибы относятся к макроконцентраторам, высокие значения концентрации элементов характерны для видов родов *Agaricus* > *Boletus* > *Lactarius* (Горельшев, Калининко, 2003).

По данным Т. Л. Егошиной с соавторами, концентрация железа в плодовых телах большинства видов трубчатых грибов выше, чем в плодовых телах пластинчатых грибов (Егошина и др., 2004). В нашем случае, наоборот, значительно больше накапливает железа (так же, как и цинка) свинушка тонкая, чем три вида трубчатых грибов.

В настоящее время, несмотря на большое количество работ по данной теме, не выделены виды грибов, которые могли бы служить универсальным биоиндикатором загрязнения местности тяжелыми металлами. Но, тем не менее, А. И. Щеглов и О. Б. Цветнова (2002) считают, что (в первом приближении) лучшими биоиндикаторами тяжелых металлов являются горькушка (*Lactarius rufus*) и желчный гриб (*Tylopilus felleus*).

Поэтому для сравнения разных территорий необходимо брать одинаковые виды грибов, а для характеристики обследуемого района – несколько видов, которые

АККУМУЛЯЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ГРИБАМИ

достаточно хорошо покажут, насколько данный район загрязнен тяжелыми металлами. При этом надо учитывать, что сапротрофные базидиомицеты больше накапливают свинец, цинк, мышьяк; ксилотрофные макромицеты – железо, марганец, хром; симбиотрофы – кобальт (Иванов и др., 2008).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Национальный парк «Плещеево озеро» находится в центре «Золотого кольца» России, достаточно густо заселенной территории. На берегу озера расположен город Переславль-Залесский с населением более чем 40 тыс. жителей. В городе имеется несколько крупных производств, в том числе филиал фирмы «Кодак». Вокруг озера располагаются многочисленные населенные пункты. Проведенные нами ранее исследования качества воды озера по нормативам ВОЗ показали, что вода в данном водоеме отвечает всем требованиям, предъявляемым к качеству питьевой воды (без какой-либо обработки) и Плещеево озеро является уникальным экологически чистым водоемом. Анализ содержания тяжелых металлов в рыбе минимально и не превышает ПДК ни по одному показателю (Пельгунов, 2003). Следовательно, эти водные экосистемы могут служить при различных биологических исследованиях точкой отсчета (нормой).

Данная работа также подтверждает, что наземные экосистемы Национального парка подвержены минимальному антропогенному загрязнению и могут быть использованы в биологических исследованиях как «норма» – отправная точка для исследования влияния антропогенного загрязнения на наземные экосистемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Горельшев Д. В., Калинин А. Н.* Возможность использования грибов в качестве биоиндикаторов тяжёлых металлов // Естественные науки и экология. 2003. Вып. 7. С. 197 – 199.
- Егошина Т. Л., Скопин А. Е., Шулятьева Н. А.* Особенности аккумуляции тяжелых металлов дикорастущими видами ягод и грибов // Пищевые ресурсы дикой природы и экологическая безопасность населения : материалы междунар. конф. / ВНИИОЗ им. проф. Б. М. Житкова РАСХН. Киров, 2004. С. 128 – 131.
- Иванов А. И., Костычев А. А., Скобанев А. В.* Аккумуляция тяжелых металлов и мышьяка базидиомами макромицетов различных эколого-трофических и таксономических групп // Поволж. экол. журн. 2008. № 3. С. 190 – 199.
- Пельгунов А. Н.* Некоторые аспекты экологии Плещеева озера («Золотое Кольцо») // Экологические системы и приборы. 2003. № 12. С. 21 – 23.
- Санитарные правила и нормы (СанПиН) 2.3.2. 1078 – 01. М. : Минздрав России, 2002.
- Чураков Б. П., Зырянова У. П., Пантелеев С. В., Морозова Н. В.* Тяжелые металлы в представителях различных эволюционных групп грибов // Микология и фитопатология. 2004. Т. 38, вып. 2. С. 68 – 77.
- Щеглов А. И., Цветнова О. Б.* Грибы – биоиндикаторы техногенного загрязнения // Природа. 2002. № 11. С. 39 – 46.