

**Микроскопические грибы в городских почвах,
загрязнённых тяжёлыми металлами**

© 2009. А.А. Широких¹, д.б.н., с.н.с., И.Г. Широких^{1,2}, д.б.н., зав. лаб.,
И.А. Устюжанин¹, к. с.-х.наук, зав. лаб., А.В. Колупаев³, аспирант,

¹ГУ НИИ сельского хозяйства Северо-Востока,

²Лаборатория биомониторинга Института биологии Коми НЦ Уро РАН и Вят ГГУ,

³Вятский государственный гуманитарный университет,
e-mail: irgenal@mail.ru

Исследован количественный и качественный состав почвенных микромицетов в придорожных экотопах г. Кирова. Показано, что по сравнению с фоновыми территориями в урбаноэмах, загрязнённых тяжёлыми металлами, снижена на порядок общая численность грибных пропагул, изменился спектр доминантных родов, возросла в комплексе доля видов, синтезирующих меланиновые пигменты, и увеличилось относительное обилие оппортунистических грибов, представляющих опасность для здоровья человека.

Quantitative and qualitative content of soil micromycetes in near road ecotopes of Kirov is investigated. It is shown that, as compared with the background territories, in urban soils polluted with heavy metals the quantity of fungi propagules has decreased ten times, the set of dominant species has changed, the amount of species producing melanin pigments has increased, the share of opportunistic fungi that are of danger to human health has increased.

Ключевые слова: городские экотопы, тяжёлые металлы,
комплекс почвенных микромицетов, оппортунистические виды

Key words: city ecotopes, heavy metals,
micromycetes complexes, opportunity species

Городские экосистемы являются специфическими образованиями, формирующимися под воздействием населенных мест, градообразующих предприятий, транспортных сооружений. Они весьма существенно отличаются от природных экосистем по ряду свойств, сформированных под влиянием антропогенных и техногенных факторов. Особенно сильному влиянию этих факторов в городских экосистемах подвержены почвы, которые, по сравнению с почвами сельской местности, имеют более тёплый температурный режим, нейтральную или слабощелочную реакцию почвенного раствора, в большей степени обогащены органическим веществом, содержат большее количество и разнообразие загрязняющих веществ, в частности, тяжёлых металлов (ТМ).

Вопросы экологии микроорганизмов в урбанизированных территориях имеют особое значение. В последние годы микробиологические показатели включены в Методические указания по оценке городских почв при разработке градостроительной и архитектурно-строительной документации (1996), Гигиеническую оценку качества почвы населённых мест (1999), в Международные стандарты

контроля качества и экологической безопасности почв [1–3].

В настоящее время большое внимание микологов и врачей привлекают опасные для здоровья человека микроскопические грибы [4–6]. Особенно мало известно о свойствах и закономерностях распространения потенциально патогенных грибов, которые, с одной стороны, могут длительно сохраняться и развиваться во внешней среде, с другой – вызывать микозы и другие патологии у человека и животных. Из-за такой лабильности свойств потенциально патогенные грибы часто называют оппортунистическими [7]. Распространение и функционирование факультативных сапротрофов в техногенно-загрязнённой среде, в том числе городской, изучены недостаточно.

Целью нашей работы являлось исследование комплексов почвенных микромицетов в придорожных экотопах города Кирова и сопоставление их характеристик с содержанием в почвах тяжёлых металлов.

Объекты и методы

Объектом исследований являлись почвы придорожных газонов главных автомагис-

тралей г. Кирова, а критерием выбора точек отбора образцов служила интенсивность транспортного потока и частота образования автомобильных пробок на перекрестках. Образцы почвы были отобраны с глубин 0–5 см на газонах между автомагистралью и тротуаром в промышленной зоне, в местах крупных транспортных развязок, в городских скверах и парках, загородных лесопарках. В качестве фоновых служили образцы почв, отобранные на территории Малмыжского и Белохолуницкого районов Кировской области (подзона южной тайги).

Количество грибных пропагул в почвенных образцах определяли методом посева из разведений почвенных суспензий на плотную питательную среду Чапека [8]. Дифференцировано учитывали колонии по морфологическим типам. Доминирующие на каждой чашке типы колоний выделяли в чистую культуру и изучали морфологические и культуральные признаки грибов в соответствии с определителями М.А. Литвинова [9], Т.С. Кириленко [10], Д. Саттона с соавт. [11].

Содержание подвижных форм меди (Cu), цинка (Zn), свинца (Pb), железа (Fe) и марганца (Mn) в почвах определяли на атомно-абсорбционном спектрометре Shimadzu-AA-6800 (Япония), предварительно экстрагируя воздушно-сухие почвенные образцы аммонийно-ацетатным буфером (рН 4,8) [12]. Значения рН солевой вытяжки измеряли потенциометрически на рН-метре ЭВ-74.

Экспериментальные данные обрабатывали стандартными методами статистического

анализа с использованием пакета программ Excel.

Результаты

Почвы городских территорий характеризовались нейтральными значениями кислотности почвенного раствора (рН 6,3–6,8), а почвы фоновых территорий и загородных лесопарков имели более кислую реакцию (рН 4,2–4,9), характерную для зональных почв дерново-подзолистого типа (табл. 1). Определение содержания тяжёлых металлов в почвенных образцах различных экотопов показало неравномерность в распределении элементов на территории города и более высокое содержание Cu, Zn, Pb в придорожных экотопах по сравнению с фоновыми территориями и загородными лесопарками. Содержание подвижного железа в исследованных образцах варьировало в широких пределах (2,5–99,2 мкг/г), но в урбаноэмах показатели в большинстве случаев уступали фоновым значениям. Содержание марганца было высоким как в городских (338–459 мкг/г), так и в загородных биотопах, но в почвах фоновых территорий (456–470 мкг/г), благодаря кислой реакции среды, превышало ПДК в 1,5–1,7 раза. Поскольку высокое содержание соединений железа и марганца в исследованных почвах связано, по-видимому, с естественным литогенным фоном (региональная особенность), а не с техногенным воздействием, эти показатели при сопоставлении полученных данных в дальнейшем не учитывались.

Таблица 1

Содержание тяжёлых металлов и реакция почвенного раствора в исследуемых образцах

Биотоп	Подвижные формы, мкг/г						рН сол.
	Zn	Cu	Pb	Fe	Mn	Сумма (Zn+Cu+Pb)	
Придорожные газоны в промзоне	<u>11,3</u> 3,6-19,0	<u>3,9</u> 0-18,1	<u>12,8</u> 4,2-28,1	<u>4,0</u> 2,5-8,4	<u>440</u> 416-458	<u>28</u> 13,4-65,2	<u>6,5</u> 6,3-6,7
Газоны вдоль автомагистралей	<u>11,0</u> 3,0-15,7	<u>1,4</u> 0-3,0	<u>16,1</u> 2,2-28,6	<u>76,5</u> 4,5-99	<u>449</u> 435-459	<u>28,5</u> 5,2-46,2	<u>6,6</u> 6,0-6,8
Городские скверы	<u>7,5</u> 1,8-9,5	<u>0,4</u> 0,1-0,8	<u>13,0</u> 2,5-19,2	<u>5,2</u> 1,9-8,6	<u>406</u> 338-446	<u>20,9</u> 7,5-28,5	<u>6,5</u> 6,2-6,7
Загородные лесопарки	<u>3,7</u> 3,3-4,1	0	<u>15,5</u> 5-26	<u>70,5</u> 59-82	<u>455</u> 452-458	<u>19,2</u> 8,3-30,1	<u>4,5</u> 4,3-4,7
Фоновые территории	<u>1,2</u> 0-2,4	0	<u>0,5</u> 0-1,1	<u>35,4</u> 6,8-64	<u>463</u> 456-470	<u>1,7</u> 0-3,5	<u>4,6</u> 4,2-4,9

Примечание: в числителе приведены средние, а в знаменателе – максимальные и минимальные значения показателя по шести пространственно обобщённым образцам из каждого биотопа.

Таблица 2

Численность (КОЕ/г) и качественный состав микромицетов в почвах г. Кирова

Биотоп	Численность, × 10 ³ КОЕ/г	В том числе видов микромицетов, %	
		синтезирующих меланины	медицинского значения
Придорожные газоны в промзоне	20-70	18,7	51,2
Газоны вдоль автомагистралей	50-150	22,3	55,3
Городские скверы	40-70	20,0	59,5
Загородные лесопарки	120-386	29,0	29,0
Фоновые территории	390-950	5,5	23,0

Максимальное содержание ТМ обнаружено в урбанозёмах промышленной части города, где располагаются предприятия металлообработки и машиностроения – завод по обработке цветных металлов (ОЦМ), машиностроительные предприятия. Высокие концентрации тяжёлых металлов отмечены и в образцах с газонов на перекрёстках улиц с повышенной транспортной нагрузкой. Суммарное содержание подвижных форм цинка, меди и свинца варьировало на газонах промышленной зоны и вблизи перекрёстков крупных автомагистралей от 5,2 до 65,2 мкг/г, тогда как в почвах скверов и парков – в более узких пределах – от 7,46 мкг/г до 28,5 мкг/г, существенно не отличаясь от почв загородных лесопарков – 8,3 мкг/г и 30,1 мкг/г. В почвах лесопарков и фоновых территорий не обнаружено подвижных форм меди. Суммарное содержание подвижных форм цинка и свинца в фоновых почвах не превышало 3,5 мкг/г.

В исследуемых городских биотопах, параллельно накоплению ТМ, наблюдали количественные и качественные изменения почвенной микобиоты, по сравнению с комплексами фоновых почв. Численность микромицетов в урбанозёмах (газоны промышленной зоны, скверы и парки) была существенно ниже, чем в почвах фоновых территорий и загородных лесопарков (табл. 2). Численность микромицетов в образцах, отобранных на газонах вдоль основных автомагистралей города, изменялась в более широких границах (в пределах двух порядков), чем на газонах в промышленной зоне и в городских скверах (колебания в пределах порядка). Это может объясняться динамичностью создаваемых движущимся автотранспортом воздушных потоков, с которыми распространяются вблизи автотрасс грибные споры, часто занесённые на колёсах машин из других местообитаний.

Прямых корреляций между показателями численности микроскопических грибов и содержанием подвижных форм ТМ в почвах не выявлено. Более низкие показатели численности грибных пропагул в городских почвах по сравнению с почвами фоновых территорий представляют собой, очевидно, результат действия всего спектра урбаногенных факторов (перемешивание подстилающей породы, привезённый грунт и строительный мусор, загрязнение ТМ и другими ксенобиотиками). Однако количественная представленность микромицетов снижалась в зависимости от категории обследованных биотопов в том же ряду, в каком нарастала степень их загрязнения ТМ: лесопарковая зона – городские скверы и парки – транспортная зона – промышленная зона. К настоящему времени в литературе накоплено достаточно много данных, свидетельствующих о том, что в подверженных загрязнению вредными веществами почвах накапливаются резистентные виды, среди которых значительную долю составляют тёмноцветные, способные к меланиногенезу микромицеты [5, 6, 13, 14]. Соотношение в грибной биомассе долей тёмного и светлого мицелия предлагается даже использовать как биоиндикационный показатель для оценки состояния природной среды и индикации наиболее опасных последствий техногенной деградации почв [15]. Если в фоновых почвах доля образующих меланины грибов не превышала 5,5% от всех выделенных видов, то в загрязнённых городских почвах их содержание возросло в 4-5 раз в зависимости от экотопа (табл. 2). Среди тёмноцветных гифомицетов обнаружены виды, способные к индукции аллергических реакций различных типов [16, 17].

Видовой состав микромицетов в городских почвах отличался от почв фоновых территорий, в большей степени – в экотопах промышленной и транспортной зоны, в меньшей

Частота встречаемости условно патогенных грибов в урбано-зёмах, загрязнённых тяжёлыми металлами, и вызываемые ими заболевания

Виды	ТМ в концентрациях выше ПДК	Встречаемость, %	Вызываемые заболевания [11]
<i>Acremonium strictum</i>	Pb, Zn, Cu	75	Онихомикозы, язва роговицы глаза, мицетома, эндофтальмит, менингит, эндокардит
<i>Acremonium atrogriseum</i>	Pb, Zn, Cu	33	Онихомикозы, язва роговицы глаза, мицетома, эндофтальмит, менингит, эндокардит
<i>Phialophora mutabilis</i>	Pb, Zn, Cu	25	Перитонит, эндокардит, кератит
<i>Cladosporium herbarum</i>	Pb, Zn, Cu	21	Кератит, кожные инфекции
<i>Phialophora repens</i>	Pb, Zn, Cu	21	Феогифомикоз, мицетома
<i>Geotrichum candidum</i>	Pb, Zn, Cu	17	Бронхиальные и легочные инфекции у лиц с ослабленной иммунной системой
<i>C. cladosporoides</i>	Pb, Zn, Cu	13	Лёгочные и кожные инфекции
<i>Paecilomyces lilacinus</i>	Pb, Zn, Cu	13	Кератит, эндофтальмит, язва роговицы
<i>Aspergillus fumigatus</i>	Pb, Fe, Zn	13	Возбудитель аспергиллезов, вызывает лёгочную, глазную, сердечно-сосудистую, носовую инфекции, поражает ЦНС
<i>Scopulariopsis brevicaulis</i>	Pb, Zn, Cu	13	Онихомикоз, поражение кожи, оппортунистические инфекции
<i>A. kiliense</i>	Pb, Zn, Cu	8	Онихомикоз, язва роговицы глаза, мицетома, эндофтальмит, менингит, эндокардит
<i>A. niger</i>	Pb	8	Лёгочные заболевания у лиц с ослабленной иммунной системой
<i>Fusarium oxysporum</i>	Pb	8	Кератит, перитонит, кожные инфекции
<i>A. flavus</i>	Pb, Zn, Cu	4	Пневмония, отит, синусит, инвазивные микозы, инфаркт, некроз, микотоксикоз
<i>A. versicolor</i>	Zn	4	Онихомикоз, инвазивный аспергиллёз
<i>Alternaria alternata</i>	Zn, Pb	4	Синусит, кератомикоз, онихомикоз, подкожный феогифомикоз, инвазивные инфекции
<i>Mucor circinelloides</i>	Pb, Zn, Cu	4	Кожные инфекции
<i>Chaetomium atrobrunneum</i>	нет	4	Системные микозы у лиц с ослабленным иммунитетом
<i>F. moniliforme</i>	Pb, Zn, Cu	4	Кератит, эндофтальмит, диссеминированные микозы
<i>Hormonema dematioides</i>	Zn	4	Феогифомикоз
<i>Pseudallescheria boydii</i>	Zn	4	Медленно прогрессирующие инфекции после травм и хирургического вмешательства
<i>Rhizopus stolonifer</i>	нет	4	Кожные инфекции
<i>Scedosporium prolificans</i>	Pb, Zn, Cu	4	Посттравматическая инфекция
<i>Sporotrix schenckii</i>	Pb, Zn, Cu	4	Кожная инфекция

степени – в почвах городских скверов и парков. В микромицетном комплексе фоновых дерново-подзолистых почв выявлены представители 8 родов, среди которых доминировали виды рода *Penicillium*. Среди пенициллов наиболее часто встречались виды *P. thomii*, *P. chrysogenum*, *P. expansum*, несколько реже – *P. purpurogenum*. Кроме пенициллов часто обнаруживались также представители родов *Trichoderma* (*T. viride*, *T. harzianum*), *Mucor*, *Verticillium*, *Acremonium*, *Cladosporium*, изредка – рода *Phialophora*.

В комплексе микромицетов урбанозёмов выявлены представители 20 родов, для 17 из них в литературе описаны условно патогенные виды. Эти грибы могут попадать в организм здорового человека и сохраняться в нём, вызывая локализованные микозы. В случае попадания в организм человека, страдающего различными формами иммунодефицита, они могут распространяться более широко и, таким образом, проявлять свойства оппортунистов.

Доминирующим в урбанозёмах с высоким содержанием ТМ являлся род *Acremonium*, представленный видами *A. strictum* (частота встречаемости 75%), *A. atrogriseum* (33%) и *A. kiliense* (8%) (табл. 3). Преобладание последнего из перечисленных видов в почвах Кольского полуострова с высокими концентрациями ТМ отмечалось ранее в работе [16]. Далее следовали роды *Phialophora* и *Cladosporium* (*C. herbarum*), частота встречаемости в комплексе которых составила 25 и 21% соответственно. Другие условно патогенные микромицеты, встречаемость которых в комплексе не превышала 13–17%, были представлены видами *Geotrichum candidum*, *Paecilomyces lilacinus*, *Cladosporium cladosporoides*, *Scopulariopsis brevicaulis*, *Aspergillus fumigatus*.

Род *Aspergillus* в урбанозёмах был представлен видами *A. fumigatus*, *A. flavus* и *A. niger*, которые практически не встречаются в природных биогеоценозах умеренной зоны (рис.). Среди выявленных видов аспергиллов наиболее часто встречался *A. fumigatus*, который, согласно литературным данным [41], является причиной аспергиллёза лёгких в 75% случаев этого заболевания. Кроме того, аспергиллы относятся к группе токсиногенных (продуцируют афлатоксины, охратоксины, цитрин и т. д. [18]) и аллергенных микромицетов, поскольку их конидии могут являться причиной различных аллергических заболеваний органов дыхания [17].

Из 23 видов условно патогенных микромицетов, выделенных из городских почв, 18

видов обнаружены в почвах с повышенным содержанием подвижных форм свинца, а 15 видов – свинца, меди и цинка. В целом в городских экотопах долевое участие грибов, имеющих то или иное медицинское значение, увеличивалось по сравнению с фоновыми почвами более чем в 2 раза (табл. 2). Очевидно, что наличие в почвах города подвижных форм тяжёлых металлов способствует повышению доли микромицетов, относящихся к условно патогенным.

Таким образом, загрязнение городских почв тяжёлыми металлами сопровождается перестройками в структуре комплекса микроскопических грибов: снижается численность грибных пропагул, изменяется спектр доминантных родов, возрастает в комплексе доля видов, синтезирующих меланиновые пигменты, и увеличивается относительное обилие оппортунистических грибов, представляющих опасность для здоровья человека и животных. В то же время аккумуляция в почвах тяжёлых металлов способствует элиминации из микромицетного комплекса тех видов, которые не устойчивы к ним или не выдерживают конкуренции с более активными оппортунистическими видами. Освободившиеся ниши занимают эвритопные виды оппортунистических микромицетов, которые в условиях более «южного» городского микроклимата и нейтральной реакции среды имеют преимущество перед грибами, доминирующими в фоновых почвах.

Полученные в результате данного исследования материалы могут служить основанием для дальнейшего мониторинга городских почв и урбанозёмов в целях прогнозирования опасных для здоровья человека ситуаций, связанных с развитием почвенной микобиоты.

Литература

1. Методические указания по оценке городских почв при разработке градостроительной и архитектурно-строительной документации/А.Д.Мягкова, М.Н.Строганова, А.С.Курбатова, Г.П.Тоцева, А.С.Яковлев, Р.Г.Мамин. Пущино: ОНТИ ПНЦ РАН, 1996. 35 с.
2. Гигиеническая оценка качества почвы населённых мест: Методические указания. М.: Федеральный центр госэпиднадзора Минздрава России. 1999. 38 с.
3. Фомин Г.С., Фомин А.Г. Почва: контроль качества и экологической безопасности по международным стандартам. М.: Протектор, 2001. 304 с.
4. Marfenina O.E. Do we have the increasing of mycological risk in the contaminated environment conditions? // Zbl. Bakteriол., 1996. V. 285. P. 5–10.

5. Артамонова В.С. Микробиологические особенности антропогенно преобразованных почв Западной Сибири. Новосибирск: СО РАН, 2002. 225 с.
6. Васильев О.Д. Условно патогенные грибы как показатели санитарного благополучия окружающей среды // Успехи медицинской микологии. М.: Нац. акад. Микологии. 2007. Т. IX. С. 39–42.
7. Hoog de G.S., Guarro J., Gene J., Figueras M.J. Atlas of clinical fungi. Cetntraalbureau voor Schimmelcultures. Universitat Rovira I Virgili. 2000. 1126 p.
8. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 303 с.
9. Литвинов М.А. Определитель микроскопических почвенных грибов. М.-Л.: Наука, 1969. 132 с.
10. Кириленко Т.С. Атлас родов почвенных грибов. Киев: Наукова думка, 1977. 128 с.
11. Саттон Д., Фотергилл А., Ринальди М. Определитель патогенных и условно патогенных грибов. М.: Мир, 2001. 486 с.
12. Воробьёва Л.А. Теория и практика химического анализа почв. М.: Геос, 2006. 400 с.
13. Марфенина О.Е. Распространение потенциально патогенных микромицетов в окружающей среде // Пробл. мед. микол. 2000. Т. 2. № 2. С. 36–37.
14. Марфенина О.Е. Антропогенная экология почвенных грибов. М.: Медицина для всех, 2005. 196 с.
15. Терехова В.А. Микромицеты в экологической оценке водных и наземных экосистем. М.: Наука, 2007. 215 с.
16. Зачиняева А.В., Лебедева Е.В. Микромицеты загрязнённых почв северо-западного региона России и их роль в патогенезе аллергических форм микозов // Микология и фитопатология. 2003. Т. 37. Вып. 5. С. 69–74.
17. Аак О.В. Аллергены грибов. Особенности микогенной сенсibilизации // Проблемы медицинской микологии. 2005. Т. 7. № 2. С. 12–16.
18. Тутельян В.А., Кравченко Л.В., Сергеев А.Ю. Микотоксины // Микология сегодня / Под ред. Ю.Т. Дьякова и Ю.В. Сергеева. М.: Национальная академия микологии, 2007. С. 283–304.