

БИОРАЗНООБРАЗИЕ, СИСТЕМАТИКА, ЭКОЛОГИЯ

УДК 582.241 : 551.510.04(234.853)

© Б. С. Плотников, К. А. Фефелов

МИКСОМИЦЕТЫ ЮЖНОЙ ТАЙГИ СРЕДНЕГО УРАЛА В ГРАДИЕНТЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВЫБРОСАМИ МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО КОМБИНАТА

PLOTNIKOV B. S., FEFELOV K. A. MYXOMYCETES UNDER THE POLLUTION GRADIENT
OF A COPPER PLANT IN SOUTHERN TAIGA, THE MIDDLE URALS

В условиях роста промышленного загрязнения в локальном и глобальном масштабах актуально изучение реакции на него всех компонентов биоты. Воздействие загрязнения на миксомицеты изучено очень слабо. Имеются данные о сборах миксомицетов в ряде крупных городов: Хельсинки (Härkönen, 1977; Härkönen, Ukkola, 2000), Краков (Drozdowicz, 2002), Мадрид (Wrigley de Basanta, 2000), Москва (Барсукова и др., 2006), Санкт-Петербург (Новожилов, 1999), Екатеринбург (Плотников, Фефелов, 2004). Лишь в некоторых из перечисленных работ имеются данные о связи структуры сообществ миксомицетов с величиной антропогенного загрязнения среды. Так, Харконен (Härkönen, 1977) сравнивает три местообитания: девственный лес, разрабатываемый лес и центр г. Хельсинки. Оказалось, что продуктивность образцов из города во влажных камерах была заметно выше, чем в ненарушенном лесу, но видовое разнообразие в ненарушенном лесу было выше, чем в городе.

Имеются данные об особенностях аккумуляции миксомицетами поллютантов в городской среде (Setälä, Nuorteva, 1989). Исследовано содержание металлов в сухих музейных образцах *Fuligo septica* (L.) F. H. Wigg. и *Lycogala epidendrum* (L.) Fr., при этом отмечено аномально высокое содержание цинка у *F. septica* и высокое содержание металлов в целом. Кроме того, проведено сравнение образцов из ряда местообитаний в Финляндии по содержанию тяжелых металлов в плодовых телах этих видов. Так, содержание кадмия в миксомицетах, собранных в сельских районах, было выше, чем в субстратах и микоризообразующих грибах из тех же районов, и сравнимо с содержанием этого элемента в грибах, собранных в центре города.

Кислотные воздействия на кортикулоидные миксомицеты, обитающие на коре живых деревьев, изучали в Мадриде (Wrigley de Basanta, 2000). Были рассмотрены четыре зоны Мадрида и его окрестности с разным уровнем загрязнения воздуха. Загрязнение SO_2 и NO_x увеличивалось с запада (наветренная сторона) на восток (подветренная сторона). В двух западных зонах отмечен наиболее типичный видовой состав миксомицетов для рассматриваемого вида форофита — дуба. Исследования проводили методом влажных камер, используя относительно небольшое количество — 45 культур из наиболее загрязненной, восточной зоны, расположенной за пределами мегаполиса. Культуры содержали почти исключительно крупные миксомицеты из рода *Badhamia*, а также миксомицеты неопределенного вида из рода *Physarum*, при этом во многих плодовых телах отмечен недостаток извести. По мнению автора (Wrigley de Basanta, 2000), это оппортунистичные виды, занявшие нишу, освобожденную более чувствительными к загрязнению видами. Обнаружена также обратная связь между

количеством образцов миксомицетов и степенью загрязнения. Из наименее загрязненной зоны было получено в четыре раза больше образцов миксомицетов, чем из наиболее загрязненной. Количество отдельных плодовых тел, образованных наиболее обильными видами, также находилось в обратной зависимости от степени загрязнения. Кроме того, по мнению автора, некоторые кортикулоидные миксомицеты более восприимчивы к загрязнению, чем другие. Наиболее часто встречающиеся роды *Macbrideola* и *Licea* обильны в самой западной зоне и почти отсутствуют в загрязненной восточной зоне. Автор (Wrigley de Basanta, 2000), отбирая толерантные виды, пришел к заключению, что кислотность может играть значительную роль в распространении кортикулоидных миксомицетов.

Предварительные результаты исследования таксономического состава и субстратных предпочтений миксомицетов в районе действия Среднеуральского медеплавильного завода представлены ранее (Фефелов, 1997; Плотников, 2005). Задача данной работы — показать количественные и качественные изменения видового состава миксомицетов при приближении к источнику загрязнения. Впервые исследовано воздействие выбросов медеплавильного комбината на миксомицеты. Следует отметить, что выбросы медеплавильных комбинатов по сравнению с другими предприятиями оказывают наиболее сильное воздействие на биоту. Это связано с тем, что выбросы включают тяжелые металлы, а также сернистый ангидрид, который приводит к закислению среды и повышению подвижности (соответственно токсического воздействия) тяжелых металлов.

Материал и методы

Исследования проводили в окрестностях Среднеуральского медеплавильного завода (СУМЗ, г. Ревда Свердловской обл.). Завод функционирует с 1940 г. Ингредиенты выбросов — сернистый ангидрид (более 130 тыс. т в год на конец 1980-х годов) и полиметаллическая пыль с абсорбированными токсичными элементами, основные из которых — Cu, Cd, Pb, Zn, As (Воробейчик, 2003). Сбор материала проводили на территориях, примыкающих к заводу с запада (направление против господствующих ветров) в четырех зонах нагрузки, существенно различающихся как по уровню загрязнения, так и по фитоценотическим параметрам. Пробные площади заложены в ельниках-пихтарниках на дерново-подзолистых почвах.

Фоновая зона располагается в 20—30 км от СУМЗа. Мощность подстилки минимальная, порядка 1 см. Отмечены высокая численность населения почвенной мезофауны с доминированием дождевых червей, высокая скорость протекания деструкционных процессов и быстрая утилизация опада (Воробейчик и др., 1994). Условно коренной древостой на 80 % образован пихтой, на 20 % — елью и единично — березой. Подлесок развит слабо. Растительная ассоциация неморально-кисличная. Для травяно-кустарничкового покрова характерно высокое содержание биомассы и многоярусное сложение (Воробейчик, Хантемирова, 1994).

Зона буферная-2 расположена в 7 км от СУМЗа. Основные параметры древостоя, подстилки и почвенной мезофауны близки к фоновым. Структура растительной ассоциации не меняется по сравнению с фоном, хотя общее количество видов травяно-кустарничкового яруса уменьшается, снижается обилие неморальных видов. Характерной особенностью этой зоны можно считать то, что здесь наблюдается более сильное выпадение кадмия и цинка (из-за особенностей ландшафта), а также их накопление в субстратах по сравнению с участками, расположенными несколько ближе к источнику выбросов. Это связано с невысокой кислотностью, из-за которой снижена подвижность металлов (Кайгородова, Воробейчик, 1996).

Зона буферная-1 расположена на расстоянии 3—4 км от СУМЗа. Здесь резко возрастает содержание тяжелых металлов в почве и ее кислотность. В древесном ярусе возрастает доля сухостоя по запасу, ухудшается жизненное состояние деревьев, уменьшается запас древесины и плотность всходов пихты. Растительная ассоциация сменя-

ется на хвоцево-разнотравную, изменяется структура травостоя. В травяно-кустарничковом ярусе доминирует хвощ лесной. Увеличивается биомасса мхов. Снижается обилие и доля в биомассе мелкотравья, выпадают неморальные виды, возрастает доля видов бедных кислых почв, увеличивается доля гемикриптофитов и бореальных голарктических видов. Сокращается общее видовое богатство травяно-кустарничкового яруса. Резко уменьшается биомасса почвенной мезофауны (в особенности дождевых червей). Процессы деструкции замедляются и, как следствие, возрастает мощность подстилки. Характерная особенность ландшафта исследуемой территории — наличие горного хребта Шайтанский увал (максимальная высота на исследуемой трансекте 430 м), расположенного на расстоянии 3 км от завода, между импактной и буферной-1 зонами. Наличие хребта ведет к экранированию второй буферной зоны от выбросов завода и обеспечивает перенос легких загрязняющих частиц через буферную-1 зону к буферной-2 (Кайгородова, Воробейчик, 1996).

Импактная зона расположена в 1—2 км от СУМЗа. Повышенная кислотность почвы и подстилки ведет к декарбонизации, в ельниках-пихтарниках практически отсутствует травянистая растительность, в живом напочвенном покрове доминирует мох *Pohlia nutans*, скорость деструкции снижается почти до нуля, что приводит к еще большему увеличению мощности подстилки. Почвенная мезофауна крайне угнетена, дождевые черви отсутствуют (Воробейчик, Хантемирова, 1994; Воробейчик и др., 1994; Кайгородова, Воробейчик, 1996).

Сбор миксомицетов проводили преимущественно с древесины и коры упавших разлагающихся стволов деревьев, а также мхов, трутовых грибов на этих стволах и опада. Стволы выбирали маршрутным методом (в 1997 и 2004—2005 гг.) либо учитывали все, находящиеся на заранее заложённых пробных площадях размером 10 × 10 м (2006 г., по одной пробной площади в фоновой, буферной-1 и импактной зонах). На каждом стволе отмечали присутствие видов миксомицетов. Если один и тот же вид встречался на стволе несколько раз, эти находки учитывали при обработке как один образец. В общей сложности было осмотрено 374 ствола (44 — в фоновой, 44 — в буферной-2, 126 — в буферной-1 и 160 — в импактной зоне).

Часть образцов была получена методом влажных камер с корой и лесной подстилкой (по методике, описанной в работах: Harkonen, 1977; Novozhilov et al., 2000). Образцом в данном случае считали один вид, появившийся в одной влажной камере. Было подготовлено порядка 300 влажных камер, однако их продуктивность оказалась невелика (только в 5 % камер были обнаружены плодовые тела миксомицетов).

Плодовые тела миксомицетов фиксировали клеем в картонных контейнерах (1.5 × 3.5 × 5 см). Видовую принадлежность образцов определяли с использованием бинокулярной лупы МБС-10 и световых микроскопов серии «Биолам» по современным систематическим сводкам (Новожилов, 1993; Neubert et al., 1993, 1995, 2000; Mitchell, 2001). Номенклатура приведена в соответствии с работой Ладо (Lado, 2001).

Результаты и обсуждение

Всего на изученной территории выявлено 120 видов миксомицетов из 1091 образца: в фоновой зоне — 78, в буферной-2 — 56, в буферной-1 — 92, в импактной — 66 (см. таблицу).

Из представленных видов 47 не были выявлены ранее для Свердловской обл. (Novozhilov, Fefelov, 2001): *Arcyria minuta* Buchet, *A. occidentalis* (T. Macbr.) G. Lister, *A. oerstedii* Rostaf., *A. stipata* (Schwein.) Lister, *A. versicolor* W. Phillips, *Badhamia panicacea* (Fr.) Rostaf., *B. papaveracea* Berk. et Ravenel, *Barbeyella minutissima* Meyl., *Collaria lurida* (Lister) Nann.-Bremek., *Comatricha ellae* Härk., *C. suksdorfii* Ellis et Everh., *Cribraria atrofusca* G. W. Martin et Lovejoy, *C. macrocarpa* Schrad., *C. mirabilis* (Rostaf.) Masee, *C. purpurea* Schrad., *Diacheopsis metallica* Meyl., *Didymium dubium* Rostaf., *Didymium floriforme* (Bull.) Pers., *Fuligo laevis* Pers., *F. leviderma* H. Neubert, Nowotny et

Видовой состав миксомицетов окрестностей Среднеуральского медеплавильного завода

Таксон	Зона нагрузки					Доля образцов вида для зоны, %			
	fon	buf2	buf1	imp	итого	fon	buf2	buf1	imp
Echinosteliales									
Clastodermataceae									
<i>Barbeyella minutissima</i> Meyl.	2	—	5	—	7	1.00	0.00	1.02	0.00
<i>Clastoderma debaryanum</i> A. Blytt	4	1	9	3	17	1.99	0.61	1.84	1.27
Echinosteliaceae									
<i>Echinostelium minutum</i> de Bary	1	1	5	1	8	0.50	0.61	1.02	0.42
Liceales									
Cribrariaceae									
<i>Cribraria atrofusca</i> G. W. Martin et Lovejoy	—	—	5	3	8	0.00	0.00	1.02	1.27
<i>C. argilaceae</i> (Pers. ex J. F. Gmel.) Pers.	—	1	—	2	3	0.00	0.61	0.00	0.84
<i>C. aurantiaca</i> Schrad.	1	3	3	3	10	0.50	1.82	0.61	1.27
<i>C. cancellata</i> (Batsch) Nann.-Bremek.	5	6	7	5	23	2.49	3.64	1.43	2.11
<i>C. intricata</i> Schrad.	—	—	—	1	1	0.00	0.00	0.00	0.42
<i>C. macrocarpa</i> Schrad.	—	—	1	—	1	0.00	0.00	0.20	0.00
<i>C. microcarpa</i> (Schrad.) Pers.	2	—	1	1	4	1.00	0.00	0.20	0.42
<i>C. mirabilis</i> (Rostaf.) Massee	—	2	1	1	4	0.00	1.21	0.20	0.42
<i>C. piriformis</i> Schrad.	—	—	—	2	2	0.00	0.00	0.00	0.84
<i>C. purpurea</i> Schrad.	—	1	8	2	11	0.00	0.61	1.64	0.84
<i>C. rufa</i> (Roth) Rostaf.	2	5	8	—	15	1.00	3.03	1.64	0.00
<i>C. splendens</i> (Schrad.) Pres.	—	1	1	—	2	0.00	0.61	0.20	0.00
<i>C. tenella</i> Schrad.	2	6	11	3	22	1.00	3.64	2.25	1.27
<i>C. violaceae</i> Rex	4	—	3	1	8	1.99	0.00	0.61	0.42
<i>C. vulgaris</i> Schrad.	2	5	9	3	19	1.00	3.03	1.84	1.27
Liceaceae									
<i>Licea belmontiana</i> Nann.-Bremek.	1	—	—	—	1	0.50	0.00	0.00	0.00
<i>L. chelonoides</i> Nann.-Bremek.	3	—	2	—	5	1.49	0.00	0.41	0.00
<i>L. minima</i> Fr.	7	7	16	3	33	3.48	4.24	3.28	1.27
<i>L. pusilla</i> Schrad.	—	—	1	—	1	0.00	0.00	0.20	0.00
<i>L. pygmaea</i> (Meyl.) Ing	—	2	1	—	3	0.00	1.21	0.20	0.00
<i>L. variabilis</i> Schrad.	1	—	8	7	16	0.50	0.00	1.64	2.95
Reticulariaceae									
<i>Lycogala epidendrum</i> (L.) Fr.	2	4	16	15	37	1.00	2.42	3.28	6.33
<i>L. exiguum</i> Morgan	2	2	8	9	21	1.00	1.21	1.64	3.80
<i>L. flavofuscum</i> (Ehrenb.) Rostaf.	—	—	1	—	1	0.00	0.00	0.20	0.00
<i>Reticularia lycoperdon</i> Bull.	1	—	—	1	2	0.50	0.00	0.00	0.42
<i>Tubulifera arachnoidea</i> Jacq.	2	—	3	5	10	1.00	0.00	0.61	2.11
<i>T. dictyoderma</i> (Nann.-Bremek. et Loer.) Lado	—	—	2	—	2	0.00	0.00	0.41	0.00

Таксон	Зона нагрузки					Доля образцов вида для зоны, %			
	fon	buf2	buf1	imp	итого	fon	buf2	buf1	imp
Stemonitales									
Stemonitidaceae									
<i>Collaria arcyronema</i> (Rostaf.) Nann.-Bremek. ex Lado	2	2	7	3	14	1.00	1.21	1.43	1.27
<i>C. lurida</i> (Lister) Nann.-Bremek.	1	—	1	—	2	0.50	0.00	0.20	0.00
<i>Comatricha elegans</i> (Racib.) G. Lister	1	—	2	4	7	0.50	0.00	0.41	1.69
<i>C. ellae</i> Härk.	1	—	1	1	3	0.50	0.00	0.20	0.42
<i>C. laxa</i> Rostaf.	3	—	4	—	7	1.49	0.00	0.82	0.00
<i>C. nigra</i> (Pers. ex J. F. Gmel.) J. Schröt.	10	7	41	31	89	4.98	4.24	8.40	13.0
<i>C. pulchella</i> (C. Bab.) Rostaf.	1	3	3	2	9	0.50	1.82	0.61	0.84
<i>C. suksdorfii</i> Ellis et Everh.	—	—	—	1	1	0.00	0.00	0.00	0.42
<i>Diacheopsis metallica</i> Meyl.	—	1	2	—	3	0.00	0.61	0.41	0.00
<i>Enerthenema papillatum</i> (Pers.) Rostaf.	5	4	12	7	28	2.49	2.42	2.46	2.95
<i>Lamproderma columbinum</i> (Pers.) Rostaf.	—	—	1	—	1	0.00	0.00	0.20	0.00
<i>L. laxum</i> H. Neubert	—	—	1	—	1	0.00	0.00	0.20	0.00
<i>Paradiacheopsis fimbriata</i> (G. Lister et Cran) Hertel ex Nann.-Bremek.	2	4	11	2	19	1.00	2.42	2.25	0.84
<i>Stemonaria irregularis</i> (Rex) Nann.- Bremek., R. Sharma et Y. Yamam.	1	—	2	—	3	0.50	0.00	0.41	0.00
<i>Stemonitis axifera</i> (Bull.) T. Macbr.	4	3	8	4	19	1.99	1.82	1.64	1.69
<i>S. fusca</i> Roth	4	1	3	—	8	1.99	0.61	0.61	0.00
<i>S. marjana</i> Y. Yamam.	—	—	1	—	1	0.00	0.00	0.20	0.00
<i>S. pallida</i> Wingate	—	—	1	—	1	0.00	0.00	0.20	0.00
<i>S. smithii</i> T. Macbr.	1	2	—	1	4	0.50	1.21	0.00	0.42
<i>S. virginensis</i> Rex	—	—	1	—	1	0.00	0.00	0.20	0.00
<i>Stemonitopsis aequalis</i> (Peck) Y. Ya- mam.	2	1	7	2	12	1.00	0.61	1.43	0.84
<i>S. hyperopta</i> (Meyl.) Nann.-Bremek.	2	—	2	1	5	1.00	0.00	0.41	0.42
<i>S. typhina</i> (F. H. Wigg.) Nann.-Bre- mek.	3	—	6	3	12	1.49	0.00	1.23	1.27
Physarales									
Didymyaceae									
<i>Didymium clavus</i> (Alb. et Schwein.) Rabenh.	1	—	1	—	2	0.50	0.00	0.20	0.00
<i>D. dubium</i> Rostaf.	1	—	—	—	1	0.50	0.00	0.00	0.00
<i>D. melanospermum</i> (Pers.) T. Macbr.	2	—	1	—	3	1.00	0.00	0.20	0.00
<i>D. minus</i> (Lister) Morgan	1	—	—	—	1	0.50	0.00	0.00	0.00
<i>D. nigripes</i> (Link) Fr.	3	—	—	—	3	1.49	0.00	0.00	0.00
<i>Diderma floriforme</i> (Bull.) Pers.	1	1	—	—	2	0.50	0.61	0.00	0.00
<i>D. radiatum</i> (L.) Morgan	3	8	15	6	32	1.49	4.85	3.07	2.53
Physaraceae									
<i>Badhamia panicea</i> (Fr.) Rostaf.	1	—	1	—	2	0.50	0.00	0.20	0.00
<i>B. papaveracea</i> Berk. et Ravenel	—	—	1	—	1	0.00	0.00	0.20	0.00
<i>B. utricularis</i> (Bull.) Berk.	—	1	1	1	3	0.00	0.61	0.20	0.42

Таксон	Зона нагрузки					Доля образцов вида для зоны, %			
	<i>fon</i>	<i>buf2</i>	<i>buf1</i>	<i>imp</i>	итого	<i>fon</i>	<i>buf2</i>	<i>buf1</i>	<i>imp</i>
<i>Craterium aureum</i> (Schumach.) Rostaf.	1	—	—	—	1	0.50	0.00	0.00	0.00
<i>C. leucocephalum</i> (Pers. ex J. F. Gmel.) Ditmar	1	—	—	—	1	0.50	0.00	0.00	0.00
<i>Fuligo laevis</i> Pers.	—	—	3	1	4	0.00	0.00	0.61	0.42
<i>F. leviderma</i> H. Neubert, Nowotny et K. Baumann	—	—	—	1	1	0.00	0.00	0.00	0.42
<i>F. septica</i> (L.) F. H. Wigg.	2	—	5	4	11	1.00	0.00	1.02	1.69
<i>Physarum album</i> (Bull.) Chevall.	22	11	41	8	82	10.95	6.67	8.40	3.38
<i>P. aurantiacum</i> Y. Yamam. et Nann.-Bremek.	1	—	—	—	1	0.50	0.00	0.00	0.00
<i>P. bethelii</i> T. Macbr. ex G. Lister	—	1	—	—	1	0.00	0.61	0.00	0.00
<i>P. cinereum</i> (Batsch) Pers.	1	1	1	2	5	0.50	0.61	0.20	0.84
<i>P. citrinum</i> Schumach.	—	1	1	—	2	0.00	0.61	0.20	0.00
<i>P. confertum</i> T. Macbr.	1	—	—	—	1	0.50	0.00	0.00	0.00
<i>P. diderma</i> Rostaf.	—	—	2	—	2	0.00	0.00	0.41	0.00
<i>P. dubium</i> Nann.-Bremek. et Y. Yamam.	—	1	—	—	1	0.00	0.61	0.00	0.00
<i>P. flavicomum</i> Berk.	2	—	3	—	5	1.00	0.00	0.61	0.00
<i>P. globuliferum</i> (Bull.) Pers.	—	—	2	—	2	0.00	0.00	0.41	0.00
<i>P. leucopus</i> Link	3	2	2	1	8	1.49	1.21	0.41	0.42
<i>P. leucophaeum</i> Fr.	1	—	2	2	5	0.50	0.00	0.41	0.84
<i>P. notabile</i> T. Macbr.	—	1	4	2	7	0.00	0.61	0.82	0.84
<i>P. psittacinum</i> Ditmar	1	2	3	2	8	0.50	1.12	0.61	0.84
<i>P. pulcherripes</i> Peck	1	1	—	—	2	0.50	0.61	0.00	0.00
<i>P. straminipes</i> Lister	1	—	—	—	1	0.50	0.00	0.00	0.00
<i>P. sulphureum</i> Alb. et Schwein.	1	—	1	—	2	0.50	0.00	0.20	0.00
<i>P. viride</i> (Bull.) Pers.	4	4	7	1	16	1.99	2.42	1.43	0.42

Trichiales**Dianematace**

<i>Calomyxa metallica</i> (Berk.) Nieuwl.	—	1	4	—	5	0.00	0.61	0.82	0.00
---	---	---	---	---	---	------	------	------	------

Trichiaceae

<i>A. cinerea</i> (Bull.) Pers.	10	8	10	6	34	4.98	4.85	2.04	2.53
<i>A. ferruginea</i> Saut.	3	—	3	1	7	1.49	0.00	0.61	0.42
<i>A. helvetica</i> (Meyl.) H. Neubert, Nowotny et K. Baumann	1	—	—	—	1	0.50	0.00	0.00	0.00
<i>A. incarnata</i> (Pers. ex J. F. Gmel.) Pers.	5	1	8	—	14	2.49	0.61	1.64	0.00
<i>A. insignis</i> Kalchbr. et Cooke	1	1	1	1	4	0.50	0.61	0.20	0.42
<i>A. minuta</i> Buchet	—	—	—	1	1	0.00	0.00	0.00	0.42
<i>A. obvelata</i> (Oeder) Onsberg	2	2	5	3	12	1.00	1.21	1.02	1.27
<i>A. occidentalis</i> (T. Macbr.) G. Lister	—	—	—	1	1	0.00	0.00	0.00	0.42
<i>A. oerstedii</i> Rostaf.	1	—	2	—	3	0.50	0.00	0.41	0.00

Таксон	Зона нагрузки					Доля образцов вида для зоны, %			
	<i>fon</i>	<i>buf2</i>	<i>buf1</i>	<i>imp</i>	итого	<i>fon</i>	<i>buf2</i>	<i>buf1</i>	<i>imp</i>
<i>A. pomiformis</i> (Leers) Rostaf.	2	4	11	20	37	1.00	2.42	2.25	8.44
<i>A. stipata</i> (Schwein.) Lister	—	—	1	—	1	0.00	0.00	0.20	0.00
<i>A. versicolor</i> W. Phillips	—	—	1	—	1	0.00	0.00	0.20	0.00
<i>Hyporhamma abietina</i> (Wigand) Lado	1	—	1	—	2	0.50	0.00	0.20	0.00
<i>H. clavata</i> (Pers.) Lado	3	4	2	1	10	1.49	2.42	0.41	0.42
<i>H. leiotricha</i> (Lister) Lado	—	—	—	1	1	0.00	0.00	0.00	0.42
<i>H. serpula</i> (Scop.) Lado	1	—	—	—	1	0.50	0.00	0.00	0.00
<i>Leocarpus fragilis</i> (Dicks.)	1	1	2	—	4	0.50	0.61	0.41	0.00
<i>Metatrichia floriformis</i> (Schwein.) Nann.-Bremek.	—	—	1	—	1	0.00	0.00	0.20	0.00
<i>M. rosea</i> (Flatau et Nann.-Bremek.) Nann.-Bremek.	—	1	1	1	3	0.00	0.61	0.20	0.42
<i>M. vesparia</i> (Batsch) Nann.-Bremek. ex G. W. Martin et Alexop.	2	4	8	4	18	1.00	2.42	1.64	1.69
<i>Perichaena corticalis</i> (Batsch) Rostaf.	1	—	1	3	5	0.50	0.00	0.20	1.27
<i>P. pedata</i> (Lister et G. Lister) Lister ex E. Jahn	—	1	—	—	1	0.00	0.61	0.00	0.00
<i>Trichia alpina</i> (R. E. Fr.) Meyl.	—	—	1	—	1	0.00	0.00	0.20	0.00
<i>T. botrytis</i> (J. F. Gel.) Pers.	3	4	5	—	12	1.49	2.42	1.02	0.00
<i>T. contorta</i> (Ditmar) Rostaf.	—	1	1	4	6	0.00	0.61	0.20	1.69
<i>T. decipiens</i> (Pers.) T. Macbr.	8	7	36	5	56	3.98	4.24	7.38	2.11
<i>T. erecta</i> Rex	3	1	2	1	7	1.49	0.61	0.41	0.42
<i>T. favoginea</i> (Batsch) Pers.	4	8	16	4	32	1.99	4.85	3.28	1.69
<i>T. flavicoma</i> (Lister) Ing	—	—	—	1	1	0.00	0.00	0.00	0.42
<i>T. lutescens</i> (Lister) Lister	—	—	—	1	1	0.00	0.00	0.00	0.42
<i>T. scabra</i> Rostaf.	2	1	2	3	8	1.00	0.61	0.41	1.27
<i>T. subfusca</i> Rex	1	—	3	2	6	0.50	0.00	0.61	0.84
<i>T. varia</i> (Pers. ex J. F. Gmel.) Pers.	3	5	11	9	28	1.49	3.03	2.25	3.80
Количество образцов	201	165	488	237	1091	100	100	100	100
Количество видов	78	56	92	66	120				

Примечание. *fon* — фоновая, *buf2* — буферная-2, *buf1* — буферная-1, *imp* — импактная зона. Прочерк — отсутствие вида.

K. Baumann, *Hyporhamma abietina* (Wigand) Lado, *Lamproderma columbinum* (Pers.) Rostaf., *L. laxum* H. Neubert, *Licea belmontiana* Nann.-Bremek., *L. chelonoides* Nann.-Bremek., *L. pusilla* Schrad., *L. pygmaea* (Meyl.) Ing, *Lycogala flavofuscum* (Ehrenb.) Rostaf., *Metatrichia floriformis* (Schwein.) Nann.-Bremek., *M. rosea* (Flatau et Nann.-Bremek.) Nann.-Bremek., *Perichaena pedata* (Lister et G. Lister) Lister ex E. Jahn, *Physarum aurantiacum* Shuang L. Chen, Yu Li et H. Z. Li, *P. bethelii* T. Macbr. ex G. Lister, *P. cinereum* (Batsch) Pers., *P. confertum* T. Macbr., *P. diderma* Rostaf., *P. dubium* Nann.-Bremek. et Y. Yamam., *P. flavicomum* Berk., *P. sulphureum* Alb. et Schwein., *Stemonaria irregularis* (Rex) Nann.-Bremek., R. Sharma et Y. Yamam., *Stemonitis marjana* Y. Yamam., *S. virginensis* Rex, *Stemonitopsis aequalis* (Peck) Y. Yamam., *Trichia alpina*

(R. E. Fr.) Meyl., *T. erecta* Rex, *T. flavicoma* (Lister) Ing, *Tubulifera dictyoderma* (Nann.-Bremek. et Loer.) Lado.

Обнаружено 33 вида миксомицетов во всех зонах нагрузки. Рассмотрим наиболее обильные из них, принимая за границу отсчета 3 % от общего количества образцов. В фоновой зоне обильны *Physarum album* (Bull.) Chevall., *Arcyria cinerea* (Bull.) Pers., *Comatricha nigra* (Pers. ex J. F. Gmel.) J. Schrot., *Trichia decipiens* (Pers.) T. Macbr., *Licea minima* Fr. В зоне буферной-2 — *P. album*, *T. favoginea* (Batsch) Pers., *Diderma radiatum* (L.) Morgan, *A. cinerea*, *C. nigra*, *T. decipiens*, *L. minima*, *Cribraria tenella* Schrad., *C. cancellata* (Batsch) Nann.-Bremek. В зоне буферной-1 — *C. nigra*, *P. album*, *T. decipiens*, *Lycogala epidendrum* (L.) Fr., *T. favoginea*, *Licea minima*, *D. radiatum*. В импактной зоне — *C. nigra*, *A. pomiformis* (Leers) Rostaf., *Lycogala epidendrum*, *T. varia* (Pers. ex J. F. Gmel.) Pers., *L. exiguum* Morgan, *P. album*. Только два вида (*C. nigra* и *P. album*) обильны во всех без исключения зонах. Относительное обилие *L. epidendrum*, *L. exiguum* и *C. nigra*, *A. cinerea* увеличивается при приближении к заводу, а *P. album* и *A. pomiformis* — уменьшается.

Одиннадцать видов были обнаружены только в фоновой зоне и отсутствуют в других: *Arcyria helvetica* (Meyl.) H. Neubert, Nowotny et K. Baumann, *Craterium aureum* (Schumach.) Rostaf., *C. leucocephalum* (Pers. ex J. F. Gmel.) Ditmar, *Didymium nigripes* (Link) Fr., *D. dubium*, *D. minus* (Lister) Morgan, *Hyporhamma serpula* (Scop.) Lado, *Licea belmontiana* Nann.-Bremek., *Physarum aurantiacum*, *P. confertum*, *P. straminipes* Lister. Для зоны буферной-2 уникальны только три вида: *Perichaena pedata*, *Physarum thelii*, *P. dubium*. Для зоны буферной-1 — 16 видов: *A. stipata*, *A. versicolor*, *Badhamia papaveracea*, *Cribraria macrocarpa*, *Lamproderma columbinum*, *L. laxum*, *Licea pusilla*, *Lycogala flavofuscum*, *Metatrichia floriformis*, *Stemonitis marjana*, *S. pallida* Wingate, *S. virginensis*, *Trichia alpina*, *Physarum diderma*, *P. globuliferum* (Bull.) Pers., *Tubulifera dictyoderma*. Для импактной зоны уникальны 9 видов: *Arcyria minuta*, *A. occidentalis*, *Comatricha suksdorfii*, *Cribraria intricata* Schrad., *C. piriformis* Schrad., *Fuligo leviderma*, *Hyporhamma leiotricha* (Lister) Lado, *Trichia flavicoma*, *T. lutescens* (Lister) Lister.

Представленные в таблице виды принадлежат к 30 родам миксомицетов, из которых 26 отмечены в фоновой зоне, 22 — в буферной-2, 28 — в буферной-1, 22 — в импактной. Во всех зонах наиболее обильны представители родов *Trichia*, *Physarum*, *Cribraria* и *Comatricha* (рис. 1). Относительное обилие (отношение количества образцов представителей рода к общему количеству образцов в зоне) рода *Physarum* закономерно уменьшается при приближении к заводу, а рода *Comatricha* — увеличивается.

Представители всех пяти порядков, описанных к настоящему времени, обнаружены во всех зонах. В буферной-1 и буферной-2 зонах обнаружены представители всех 10 семейств, описанных к настоящему времени. В импактной и фоновой зонах отсутствуют представители только семейства *Dianemataceae*, так как они редки в умеренной зоне и их сборы единичны.

При рассмотрении спектра порядков по количеству видов и относительному обилию видно, что доля видов порядка *Physarales* уменьшается при приближении к заводу (прежде всего за счет рода *Physarum*), а порядков *Trichiales* и *Liceales*, напротив, увеличивается (рис. 2). По количеству образцов картина сходна: относительное обилие порядка *Physarales* уменьшается, а порядка *Liceales* увеличивается. Также увеличивается относительное обилие порядка *Stemonitales*.

Анализ представленных материалов свидетельствует об определенных изменениях видового состава миксомицетов по мере приближения к источнику загрязнения. Они не очень велики, особенно по сравнению с изменениями других компонентов экосистем: высших растений (Воробейчик, Хантемирова, 1994), эпифитных лишайников (Михайлова, Воробейчик, 1995) и почвенной мезофауны (Воробейчик и др., 2007). Следует отметить, что общее количество видов для района исследования площадью около 150 км² превысило отмеченное ранее для всей Свердловской обл. — 101 вид (Novozhilov, Fefelov, 2001) для района площадью 195 тыс. км². Это связано с крайне низкой изученностью миксомицетов в Уральском регионе, как и в других регионах России, и малым количеством специалистов. По видовой насыщенности наш резуль-

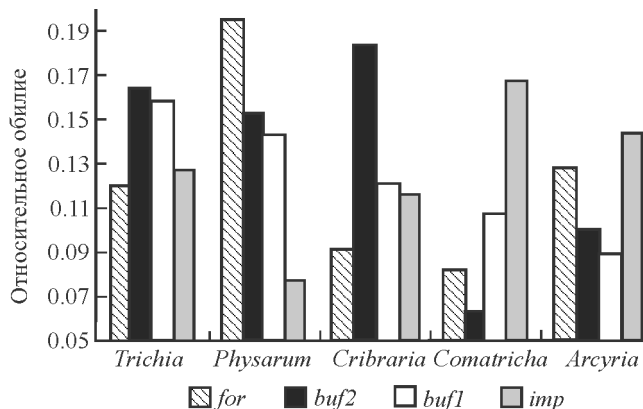


Рис. 1. Соотношение наиболее обильных родов.
fon — фоновая, *buf2* — буферная-2, *buf1* — буферная-1, *imp* — импактная зоны.

тат сравним с исследованиями других районов. Так, в Карелии зарегистрировано 93 вида представленных 348 образцами (Shnittler, Novozhilov, 1996). В Национальном парке Грейт-Смоки-Маунтинс (Great-Smokey-Mountains) в США на площади 2080 км² выявлено 167 видов миксомицетов (Stephenson et al., 2001).

На встречаемость миксомицетов и их видовой состав может оказывать влияние значительное число факторов: непосредственное воздействие промышленных выбросов и отдельных компонентов этих выбросов, косвенное — через изменения других компонентов экосистем. Большое значение могут иметь ландшафт, а также иные факторы, в том числе и случайные.

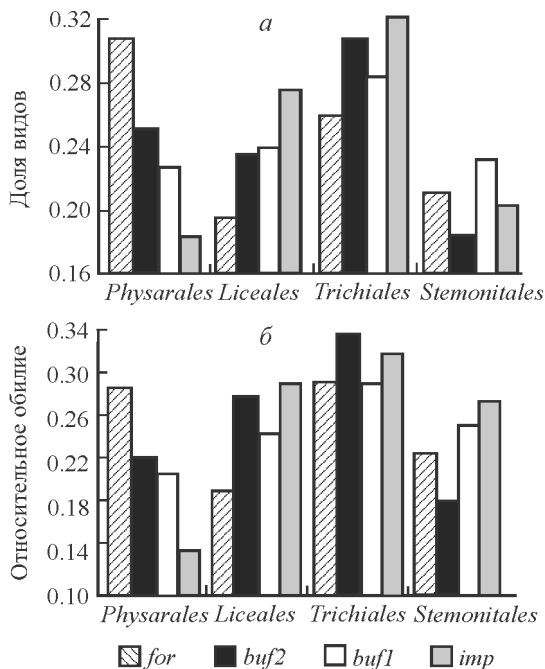


Рис. 2. Соотношение порядков по количеству видов (а) и относительному обилию (б).
 Порядок *Echinosteliales* не показан из-за его малой доли в количестве видов и относительном обилии. *fon* — фоновая, *buf2* — буферная-2, *buf1* — буферная-1, *imp* — импактная зоны.

По нашему мнению, наибольшее влияние на изменение видового состава миксомицетов оказывает увеличение кислотности субстратов. Можно предположить, что повышение кислотности субстрата угнетает миксомицеты только при превышении определенного порога концентрации, который достигается в импактной зоне. Исключение составляют миксомицеты порядка *Physarales*, которые снижают свое присутствие при приближении к источнику загрязнения равномерно, а не скачкообразно. Это, вероятно, связано с тем, что у всех представителей порядка в структурах плодового тела откладывается известь, а при наличии подкисления среды происходит вымывание кальция из субстрата и соответственно затруднено формирование плодовых тел. Увеличение роли остальных порядков, прежде всего порядка *Liceales*, можно объяснить тем, что они занимают освободившуюся нишу.

Исследования видового состава миксомицетов г. Екатеринбурга (Плотников, Феллов, 2004) показывают высокий уровень видового разнообразия миксомицетов на территориях, загрязненных свинцом и цинком (Карта..., 1993). Можно предположить, что прямое действие тяжелых металлов в данных концентрациях вызывает незначительное подавление жизнедеятельности миксомицетов. Интересна корреляция снижения видового разнообразия миксомицетов в буферной-2 зоне с повышением концентрации кадмия и цинка в этой зоне по сравнению с буферной-1. Возможно, именно поэтому общее видовое разнообразие в буферной-2 зоне не укладывается в общую схему равномерного убывания количества видов при приближении к источнику загрязнения, тогда как соотношение порядков *Physarales* и *Liceales*, связанное с кислотностью, общей картине соответствует. Необходимо при этом отметить, что промышленное усилие в буферной-2 зоне было несколько слабее, чем в других зонах. Однако, как показали оценки кумулятивных кривых (Плотников, 2007), видовое разнообразие в зоне буферной-2 все-таки ниже, чем в буферной-1, но на это могут влиять и еще некоторые факторы, описанные далее.

Косвенно загрязнения могут влиять на видовое разнообразие миксомицетов посредством изменения других биогенных компонентов экосистем. Уменьшение количества микроорганизмов в субстрате при приближении к источнику загрязнения может приводить к подрыву пищевой базы миксомицетов (Воробейчик и др., 1994). Увеличение количества мертвых стволов деревьев благоприятно для миксомицетов, однако уменьшение скорости их разложения действует противоположным образом. В буферной-2 зоне наблюдается изменение субстратной приуроченности дождевых червей, полностью отсутствующих в импактной и имеющих низкую численность в буферной-1 зоне. Они населяют не только лесную подстилку (как в фоновой зоне), но и обитают под корой разлагающихся стволов (Воробейчик и др., 2007). Возможно, что они могут оказывать негативное влияние на миксомицеты, поедая их вместе с субстратом. Следовательно, косвенные факторы могут оказывать разнонаправленное влияние на разнообразие видового состава миксомицетов при приближении к источнику загрязнения.

Таким образом, в целом наблюдается тенденция к уменьшению видового богатства и изменению таксономического спектра миксомицетов при приближении к металлургическому комбинату. Однако реакция комплексов миксомицетов выражена достаточно слабо: только в непосредственной близости от завода наблюдается значительное уменьшение количества видов и их встречаемости. Ведущим фактором, скорее всего, служит изменение кислотности субстратов.

Авторы выражают благодарность заведующему Лабораторией популяционной экотоксикологии Института растений и животных УрО РАН д. б. н. Е. Л. Воробейчику за научное руководство и помощь в работе над текстом.

Работа завершена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 08-04-91766), программы развития ведущих научных школ (НШ-1022.2008.4) и программы президиума РАН «Биоразнообразие и динамика генофондов».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Барсукова Т. Н., Виноградская Е. Н., Акимова М. Ф. Миксомицеты в лесопарках г. Москвы // Микология и фитопатология. 2006. Т. 40, вып. 3. С. 186—189.
- Воробейчик Е. Л. К методике измерения мощности лесной подстилки для целей диагностики техногенных нарушений экосистем // Экология. 1995. № 4. С. 263—267.
- Воробейчик Е. Л. Реакция лесной подстилки и ее связь с почвенной биотой при токсическом загрязнении // Лесоведение. 2003. № 2. С. 32—42.
- Воробейчик Е. Л., Ермаков А. И., Гребенников М. Е., Голованова Е. В., Кузнецов А. В., Пищулин П. Г. Реакция почвенной мезофауны на выбросы Среднеуральского медеплавильного комбината // Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель: Матер. Междунар. науч. конф. Екатеринбург, 2007. С. 128—148.
- Воробейчик Е. Л., Садыков О. Ф., Фарафонов М. Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень). Екатеринбург: Наука, 1994. 280 с.
- Воробейчик Е. Л., Хантемирова Е. В. Реакция лесных фитоценозов на техногенное загрязнение: зависимость доза—эффект // Экология. 1994. № 3. С. 31—43.
- Кайгородова С. Ю., Воробейчик Е. Л. Трансформация некоторых свойств серых лесных почв под действием выбросов медеплавильного комбината // Экология. 1996. № 3. С. 187—193.
- Карта экологической ситуации промышленных районов Свердловской области. Федеральная служба геодезии и картографии России. М.: Роскартография, 1993. 1 л.
- Михайлова И. Н., Воробейчик Е. Л. Эпифитные лишайсинузии в условиях химического загрязнения: зависимость доза—эффект // Экология. 1995. № 6. С. 455—460.
- Новожилов Ю. К. Определитель грибов России. Отдел Мухомycota. Вып. 1: Класс Мухомycetes. СПб.: Наука, 1993. 287 с.
- Новожилов Ю. К. Миксомицеты Ленинградской области // Биоразнообразии Ленинградской области: Водоросли. Грибы. Лишайники. Мохообразные. Беспозвоночные животные. Рыбы и рыбообразные. СПб., 1999. С. 197—204.
- Новожилов Ю. К., Фефелов К. А. Аннотированный чек-лист миксомицетов Свердловской области // Микология и фитопатология. 2001. Т. 35, вып. 4. С. 41—52 (на англ. яз.).
- Плотников Б. С. Систематическая структура сообществ миксомицетов в градиенте техногенного загрязнения // Экология: от генов до экосистем: Матер. конф. молодых ученых. Екатеринбург, 2005. С. 206—211.
- Плотников Б. С. Биоразнообразии миксомицетов в зоне действия выбросов медеплавильного комбината // Экология: от Арктики до Антарктики: Матер. конф. молодых ученых. Екатеринбург, 2007. С. 222—245.
- Плотников Б. С., Фефелов К. А. Географический и экологический анализ миксомицетов города // Экологические механизмы динамики и устойчивости биоты: Матер. конф. молодых ученых. Екатеринбург, 2004. С. 180—183.
- Фефелов К. А. Влияние азротехногенного загрязнения тяжелыми металлами и SO₂ на миксомицеты // Безопасность биосферы. Екатеринбург, 1997. С. 221.
- Drozdowicz A. Mухomycetes in the Botanic Garden of the Jagillonian University in Cracow // Scripta Bot. Belg. 2002. Vol. 22. P. 20.
- Härkönen M. Corticolous Mухomycetes in three different habitats in southern Finland // Karsenia. 1977. Vol. 17. P. 19—32.
- Härkönen M., Ukkola T. Conclusions on Mухomycetes over Twenty-Five Years from 4793 Moist Camber Culture // Stapfia. 2000. Vol. 73, N 155. P. 105—112.
- Lado C. Nomenmyx. A nomenclature taxabase of Mухomycetes // Cuadernos de trabajo de Flora Micologica Iberica. Iberica, Madrid: CSIC, 2001. Vol. 16. 221 p.
- Mitchell D. W. Mухomycetes, 2001. CD.
- Neubert H., Nowotny W., Baumann K. Die Mухomyceten Deutschlands und des angrenzenden Alpenraumes unter besonderer Berücksichtigung Österreichs. Gomaringen: Baumann. 1993. Bd 1; 1995. Bd 2; 2000. Bd 3.

Novozhilov Yu. K., Schnittler M., Zemlianskaia I. V., Fefelov K. A. Biodiversity of plasmodial slime moulds (Myxogastria): measurement and interpretation // *Protistology*. 2000. Vol. 1 (4). P. 161—178.

Schnittler M., Novozhilov Yu. The myxomycetes of boreal woodland in Russian northern Karelia: a preliminary report // *Karstenia*. 1996. Vol. 36. P. 19—40.

Setälä A., Nuorteva P. High metal contents found in *Fuligo septica* (L.) Wiggers and some other slime molds (Myxomycetes) // *Karstenia*. 1989. Vol. 29. P. 37—44.

Stephenson S. L., Schnittler M., Mitchell D. W., Novozhilov Yu. K. Myxomycetes of the Great Smoky Mountains National Park // *Mycotaxon*. 2001. Vol. 78. P. 1—15.

Wrigley de Basanta D. Acid deposition in Madrid and corticolous Myxomycetes // *Stapfia*. 2000. Vol. 155. P. 113—120.

Институт экологии растений и животных УрО РАН
Екатеринбург
Pbs@front.ru

Поступила 16 IV 2008

Р Е З Ю М Е

Район исследования расположен в окрестностях Среднеуральского медеплавильного завода (г. Ревда Свердловской обл., подзона южной тайги). Сбор материала проводили на территориях в четырех зонах нагрузки: импактной (1—2 км к западу от комбината), буферной-1 (4 км), буферной-2 (7 км) и фоновой (20—30 км) в ельниках-пихтарниках на дерново-подзолистых почвах. Большинство плодовых тел было собрано с разлагающихся стволов деревьев. Всего было обнаружено 120 видов миксомицетов. Все 5 известных порядков были представлены в каждой зоне. Только одно семейство не было обнаружено в импактной и буферной-2 зонах. Относительное обилие и численность видов значительно снижались только в импактной зоне. Было обнаружено, что относительное обилие и число видов порядка *Physarales* снижалось вблизи завода, тогда как эти же параметры порядка *Liceales* повышались.

Ключевые слова: комплексы миксомицетов, Средний Урал, промышленное загрязнение, медеплавильный комбинат.

S U M M A R Y

The study area situated in the vicinity of a copper smelter (Revda town, Sverdlovsk Region) (southern taiga subzone). Sample plots were laid down in impact (1—2 km to the west of the smelter), buffer 1 (4 km), buffer 2 (7 km), and background (20—30 km) zones in spruce-fir forests of different associations on grey forest soil. Most fruiting bodies were collected from decaying logs. Totally 120 species of myxomycetes were found. All the five known orders were presented in every zone. Only one family was not found in impact and buffer 2 zones. The abundance and number of species noticeably decreased only in impact zone. It was found that abundance and species number of the order *Physarales* lessened close to the plant, while those parameters of the order *Liceales* increased.

Key words: myxomycete complexes, Middle Urals, industrial pollution, copper plant.