

УДК 582.284-152.4: 504.73.05

СОСТОЯНИЕ ЛЕСНЫХ СООБЩЕСТВ КСИЛОТРОФНЫХ ГРИБОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ АЭРОПОЛЛЮТАНТОВ

© 2010 г. И. В. Ставищенко

*Институт экологии растений и животных УрО РАН
620144 Екатеринбург, 8 Марта, 202
E-mail: stavishenko@bk.ru*

Поступила в редакцию 20.01.2010 г.

Ключевые слова: аэрополлутанты, сернистый ангидрид и полиметаллическая пыль, кислые газы и фтористые соединения, аэротехногенное загрязнение, ксилотрофные грибы, микокомплексы, трансформация микобиоты, биоиндикация.

Ксилотрофные базидиальные грибы являются неотъемлемым компонентом лесных экосистем, определяющим их устойчивость и продуктивность (Бондарцева, 2000; Tyler, 1984; и др.). Высокая чувствительность этой группы организмов к изменению природно-климатических и антропогенных факторов позволяет использовать их в качестве самостоятельного объекта биоиндикации (Бондарцева, Свищ, 1991; Мухин и др., 2000; Ставищенко и др., 2002; и др.).

Несмотря на подробное описание пространственной и функциональной организации микобиоты (Бурова, 1986; Мухин, 1993; и др.), многие аспекты функционирования и преобразования сообществ ксилотрофных грибов под действием антропогенных факторов, особенно на региональном уровне, остаются недостаточно исследованными.

Исследования современного состояния лесной биоты ксилотрофных грибов в подвергающихся воздействию промышленных аэрополлутантов районах проводились в Свердловской области в окрестностях городов Ревды (Среднеуральский медеплавильный завод – СУМЗ), Кировограда (Кировоградский медеплавильный завод – КМЗ), Полевского (Полевской криолитовый завод – ПКЗ). Низкогорные участки леса на территории и в охранной зоне Висимского государственного природного биосферного заповедника (ВГПБЗ) рассматривались в качестве регионального фона. Исследованные участки елово-пихтовых и сосновых лесов западного и восточного макросклонов Среднего Урала входят в подзону южной тайги (Игошина, 1964).

Промышленные выбросы Среднеуральского и Кировоградского медеплавильных заводов в основном состоят из сернистого ангидрида и полиметаллической пыли (Cu, Pb, Cd и др.), Полевского криолитового завода – из кислых газов и фтористых соединений. Подробное описание ингредиентов аэрополлутантов приводится в работах Е.Л. Воробейчика с соавт. (2006) и М.Р. Трубиной (1996).

Для ксилотрофных базидиальных грибов древесный субстрат является основой для развития и расселения (Бурова, 1986). Мы изучали преимущественно афиллофороидные грибы – виды с непластинчатым строением гименофора (Donk, 1964). Состояние лесных сообществ ксилотрофных грибов – ценомикокомплексов – исследовали методом пунктирной трансекты – на участках леса временных пробных площадей, включающих не менее 200 деревьев лесообразующих видов. В каждом промышленном районе в трансекте западного направления были изучены микокомплексы на участках леса, удаленных от источников загрязнения на расстояния 1, 2, 3 и 4 км в районах КМЗ (участки средневозрастного отдельно стоящими спелыми деревьями, приспевающего и спелого сосняка злаково- и разнотравно-зеленомошного) и ПКЗ (участки приспевающего и спелого сосняка ягодниково-зеленомошного), а в районе СУМЗа – на расстояния 1.3, 2.5, 4.5 и 7 км (участки спелого и приспевающего пихто-ельника хвощово-, злаково-, мелкотравно- и крупнотравно-зеленомошного, участки спелого ельника мелко- и разнотравно-зеленомошного). Микокомплексы спелого сосняка разнотравно-зеленомошного и пихто-ельника мелко- и разнотравно-зеленомошного на территории и в охранной зоне ВГПБЗ, удаленные на расстояние более чем 30 км от промышленных районов, рассматривались в качестве фоновых.

За счетную единицу вида принимали единицу субстрата с развившимися базидиомами (Мухин, 1993). Субстратом для них служила отмершая древесина – отпад (ветви, валеж, сухостой, пни, корни и т.д.) с развившимися базидиомами и без них, а также живые деревья, пораженные фитопатогенными грибами. Состояние разложения отмершей древесины оценивали по пятибалльной шкале (I–V), предложенной П. В. Гордиенко (цит. по: Бурова, 1986).

Функциональная структура ценологических сообществ ксилотрофных грибов, традиционно рассматриваемых в качестве консортов автотроф-

ных растений (Бурова, 1986; Мухин, 1993; Бондарцева, 2000; и др.), описана на уровне мероценоза – консорции лесообразующего вида.

Численность грибов на пробных площадях определяли как отношение количества учетных единиц грибов к общему количеству учетных единиц субстрата (шт/100 ед. субстрата). Субстрат, на котором не было плодовых тел, считали “не заселенным”, хотя в древесине возможно присутствие вегетативного мицелия: базидиомы в неблагоприятных условиях могут не формироваться (Бондарцев, 1953). На каждом участке леса пробной площади обследовалось не менее 100 ед. отпада основных лесообразующих видов методом случайной выборки.

Патогенные виды грибов на пробной площади выявляли при визуальном осмотре растущих деревьев, а скрытые гнили живых деревьев определяли выборочно, по кернам, взятым буравом Пресслера из 10 стволов живых деревьев каждого лесообразующего вида на высоте 1.3 м и у шейки корня.

При сравнении показателей ценотической генеративной активности на участках леса в районах воздействия аэрополлютантов и фоновых условиях были рассчитаны стандартные ошибки относительного обилия. Для оценки ценотической конкурентной и фитопатогенной активностей применен критерий хи-квадрат в случае четырехпольной таблицы вариант (Зайцев, 1984).

В результате микологических исследований, проведенных в августе – сентябре 2002 и 2003 гг. на 14 временных пробных площадях, обследовано 2452 единицы субстратов, на которых отмечено 1560 учетных единиц базидиомицетов.

Характеристики ксилотрофокомплексов в градиенте воздействия аэрополлютантов и фоновых условиях приведены в табл. 1. Полученные данные свидетельствуют о сокращении видового состава ксилотрофных грибов на участках леса вблизи промышленных предприятий. Представленность видов в березовых ценомикокомплексах снижена в сравнении с фоновой почти втрое, в еловых, пихтовых и сосновых – в среднем наполовину.

Сравнение параметров ценотической генеративной активности ксилотрофных грибов в градиенте воздействия аэрополлютантов свидетельствует о явном угнетении роста базидиом на участках леса вблизи промышленных предприятий (на расстоянии 1–2 км от источников загрязнения) в сравнении с фоновыми условиями. Так, ценотическая генеративная активность в консорциях березы и пихты на участках леса, максимально приближенных к предприятиям, снижена почти в 3 раза в сравнении с фоновой, в консорциях ели – почти в 2 раза; в консорциях сосны обилие грибов сокращено более чем в 5 раз. На участках леса, наиболее удаленных от источников загрязнения (на расстоянии 4–7 км), обилие ксилотрофных грибов хвойных и лиственных консорций практически не отличается от фоновых. Однако на участках леса в пределах изучае-

мой трансекты ПКЗ ценотические характеристики консортивной генеративной активности остаются заметно ниже фоновых.

Подавление микогенной активности может приводить к накоплению больших запасов отпада ранних (I–III) стадий деструкции. Однако на увеличение количества отпада ранних этапов разложения оказывают влияние и многие другие как природные (ветровалы, пожары и пр., гибель деревьев в результате поражения фитопатогенными организмами – грибами, беспозвоночными и т.д.), так и антропогенные (рубки ухода, очистка леса от порубочных остатков, сбор валежа) факторы. На участках леса в районах воздействия промышленных выбросов было описано состояние отпада, степень деструкции которого, по нашему мнению, могла бы служить дополнительным показателем интенсивности микогенных процессов. Однако полученные в результате исследований данные не позволили выявить зависимости между ослаблением генеративной активности и накоплением отпада ранних этапов разложения.

Следствием угнетения генеративной активности грибов на участках леса в зоне аэротехногенных загрязнений является снижение конкуренции за субстрат и уменьшение доли грибов, формирующих многовидовые микоценозаеички. Согласно данным табл.1, в наиболее пессимальных условиях находятся ксилотрофокомплексы участков леса, максимально приближенных к источникам загрязнения. Ценопараметры конкурентной активности в консорциях сосны (С) и березы (Б) на участках леса в районах КМЗ и ПКЗ достоверно различаются с фоновыми – во всех случаях $\chi^2_{N_{км-фон}}(1) \geq 3.9$ [КМЗ (С): $\chi^2_{1км-фон} = 27.4$; $\chi^2_{2км-фон} = 37.9$; $\chi^2_{3км-фон} = 21.2$; $\chi^2_{4км-фон} = 9.4$; КМЗ (Б): $\chi^2_{1км-фон} = 46.3$; $\chi^2_{2км-фон} = 22.9$; $\chi^2_{3км-фон} = 6.4$; $\chi^2_{4км-фон} = 3.9$; ПКЗ (С): $\chi^2_{1км-фон} = 43.3$; $\chi^2_{2км-фон} = 40.8$; $\chi^2_{3км-фон} = 35.6$; $\chi^2_{4км-фон} = 20.8$; ПКЗ (Б): $\chi^2_{1км-фон} = 37.1$; $\chi^2_{2км-фон} = 49.4$; $\chi^2_{3км-фон} = 16.1$; $\chi^2_{4км-фон} = 18.9$]. На всех участках леса в районе СУМЗа ценотическая конкурентная активность в консорциях березы (Б) также достоверно отличается от фоновой [СУМЗ (Б): $\chi^2_{1.3км-фон} = 37.4$; $\chi^2_{2.5км-фон} = 23.1$; $\chi^2_{4.5км-фон} = 35.7$; $\chi^2_{7км-фон} = 5.9$]. Ценотическая конкурентная активность в консорциях пихты (П) в районе СУМЗа отличается от фоновой лишь на удаленных от источника аэрополлютантов участках леса [СУМЗ (П): $\chi^2_{2.5км-фон} = 19.8$; $\chi^2_{7км-фон} = 21.1$]. Достоверных отличий параметров конкурентной активности в консорциях ели (Е) на участках леса в районе СУМЗа от фоновых не выявлено [СУМЗ (Е): $\chi^2_{N_{км-фон}}(1) \leq 2.95$]. Причиной данной ситуации в

Таблица 1. Основные ценопараметры лесных сообществ ксилотрофных грибов в градиенте аэротехногенных загрязнений промышленных предприятий (СУМЗ, КМЗ, ПКЗ) и в фоновых условиях (Висимский заповедник – ВГПБЗ)*

Характеристика микокомплексов	Район исследования	Древесный субстрат	Расстояние от источника загрязнения (СУМЗ/КМЗ, ПКЗ), км				Фоновые условия (ВГПБЗ)
			1.3/1	2.5/2	4.5/3	7/4	
Видовое богатство (количество видов на участке леса пробной площади)	СУМЗ	Береза	8	13	19	20	34
		Ель	11	13	18	17	18
		Пихта	8	12	–	17	15
	КМЗ	Береза	20	18	21	25	30
		Сосна	3	12	19	13	11
	ПКЗ	Береза	8	5	26	17	30
Сосна		5	11	15	18	11	
Численность грибов, шт/100 ед. субстрата	СУМЗ	Береза	57.1 ± 10.8	106.9 ± 13.2	101.4 ± 12.3	175 ± 23.3	183 ± 11.0
		Ель	63.0 ± 11.7	73.9 ± 12.7	116.4 ± 12.7	129.4 ± 19.5	134.1 ± 8.9
		Пихта	26.4 ± 6.1	48.5 ± 6.0	–	89.8 ± 9.6	90.4 ± 11.2
	КМЗ	Береза	68.8 ± 7.4	34.5 ± 12.4	161.1 ± 19.5	194.9 ± 18.2	218.8 ± 16.5
		Сосна	11.6 ± 4.1	43.4 ± 7.2	101.4 ± 11.7	137.2 ± 17.9	153.6 ± 23.4
	ПКЗ	Береза	68.4 ± 13.4	103.3 ± 18.6	117.2 ± 14.2	126.7 ± 14.5	218.8 ± 16.5
Сосна		26.3 ± 5.2	35.1 ± 6.1	34.5 ± 5.5	65.1 ± 8.8	153.6 ± 23.4	
Доля грибов, формирующих многовидовые микоценозачейки, %	СУМЗ	Береза	21.4	46.2	40	60.7	75.1
		Ель	58.6	64.7	76.5	68.2	76.9
		Пихта	63.2	31.3	–	33	68.2
	КМЗ	Береза	42.7	58.1	69	73.9	83.4
		Сосна	0	19.4	45.2	61	88.4
	ПКЗ	Береза	34.6	29	63.2	61.8	83.4
Сосна		7.7	13.2	23.1	43.9	88.4	
Доля фитопатогенных грибов, %	СУМЗ	Береза	12.5	1.5	7	7.1	1.7
		Ель	0	0	1.2	0	1.3
		Пихта	0	4.7	–	5.7	1.4
	КМЗ	Береза	2.3	5.1	4.2	0.9	1.7
		Сосна	0	0	0	0	0
	ПКЗ	Береза	11.5	0	7.3	1.3	1.7
Сосна		0	0	7.8	0	0	

* В районе СУМЗа и фоновых условиях (ВГПБЗ) исследования проводились в 2002 г.; в районах КМЗ, ПКЗ и фоновых условиях (ВГПБЗ) – в 2003 г.

районе СУМЗа, которая отмечалась и в предыдущих исследованиях (Брындина, 2000), может быть ограниченное количество пригодного для колонизации грибами елового и пихтового отпада, возможно, из-за загрязнения или заражения мицелием фитопатогенных видов.

В микобиоте участков леса в районах промышленного загрязнения наблюдается повышение фитопатогенной активности в сравнении с фоновой (см. табл. 1). Следует отметить, что доля фитопатогенных и факультативных патогенных видов во всех районах исследования особенно высока в консорциях березы

и пихты. Ценопараметры фитопатогенной активности в консорциях березы в районе СУМЗа достоверно различаются с фоновыми показателями на участках леса, удаленных от источника загрязнения на расстояния 1.3, 4.5 и 7 км [СУМЗ (Б): $\chi^2_{1.3\text{км-фон}} = 3.92$; $\chi^2_{4.5\text{км-фон}} = 14.5$; $\chi^2_{7\text{км-фон}} = 14.1$], в консорциях ели – на участке леса, удаленном от источника загрязнения на расстояние 7 км [СУМЗ (Е): $\chi^2_{7\text{км-фон}} = 15.8$], в консорциях пихты – на участках леса, удаленных от источника загрязнения на расстояния 2.5 км и

Таблица 2. Доля фаутных деревьев в составе древостоя в градиенте аэротехногенных загрязнений и фоновых условиях, %

Древесная порода	Фоновые условия	Расстояние от источника загрязнения, км											
		СУМЗ				КМЗ				ПКЗ			
		1.3	2.5	4.5	7	1	2	3	4	1	2	3	4
Береза	50	54.5	35.7	36.4	60	—	—	—	—	—	—	—	—
Сосна	—	—	—	—	—	60	10	10	16.7	9.1	0	18.2	0
Ель	22.6	45.5	27.3	10	18.2	—	—	—	—	—	—	—	—
Пихта	10	58.3	90	60	45.5	—	—	—	—	—	—	—	—

7 км [СУМЗ (П): $\chi^2_{2.5\text{км-фон}} = 14.8$; $\chi^2_{7\text{км-фон}} = 5.6$]. Ценопараметры фитопатогенной активности в консорциях березы в районах КМЗ и ПКЗ достоверно различаются с фоновыми на отдельных участках леса [КМЗ (Б): $\chi^2_{3\text{км-фон}} = 4.2$; ПКЗ (Б): $\chi^2_{1\text{км-фон}} = 14$; $\chi^2_{3\text{км-фон}} = 9.3$]. Достоверных отличий ценопараметров фитопатогенной активности в консорциях сосны в районах КМЗ и ПКЗ от фоновых не выявлено. Однако в районе ПКЗ ценотическая фитопатогенная активность в консорциях сосны достоверно различается между участками леса, удаленными от источника загрязнения на расстоянии 3 км и 4 км [ПКЗ (С): $\chi^2_{3\text{км-4км}} = 4.5$].

На стволах живых деревьев лесобразующих видов в районе исследований были обнаружены *Armillaria borealis*, *Cerrena unicolor*, *Climacocystis borealis*, *Fomes fomentarius*, *Fomitopsis pinicola*, *Inonotus obliquus*, *Phellinus chrysoloma*, *P. hartigii*, *P. ignarius*, *Piptoporus betulinus*, *Porodaedalea pini*. Базидиомы паразитических видов грибов в пессимальных условиях могут длительное время не развиваться (Жуков, 1978). Увеличение количества скрытых стволовых и комлевых гнилей растущих деревьев основных лесобразователей на участках леса в районах воздействия аэрополлютантов указывает на повышенную в сравнении с фоновой фаутистность древостоя (табл. 2). Наибольшая фаутистность характерна для пихты в окрестностях СУМЗа.

Таким образом, аэротехногенные загрязнения обуславливают деградацию лесных сообществ ксилотрофных грибов: сокращается таксономический состав, подавляются генеративная и, как следствие, конкурентная активности. Ухудшение лесорастительных условий в результате воздействия аэрополлютантов оказывает влияние на усиление активности фитопатогенного компонента микобиоты и увеличение фаутистности древостоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бондарцев А.С. Трутовые грибы европейской части СССР и Кавказа. М., Л.: Изд-во АН СССР, 1953. 1106 с.
Бондарцева М.А. Эколого-биологические закономерности функционирования ксилотрофных базидиомицетов

в лесных экосистемах // Грибные сообщества лесных экосистем: Мат-лы координац. исслед. М.; Петрозаводск: Изд-во Карельского НЦ РАН, 2000. С. 9–25.

Бондарцева М.А., Свищ Л.Г. Изменение видового состава трутовых грибов в условиях антропогенного воздействия // Проблемы лесопатологического мониторинга в таежных лесах европейской части СССР: Тез. докл. I Всесоюз. конф. Петрозаводск: Карельский НЦ АН СССР, 1991. С. 9–11.

Брындина Е.В. Действие выбросов медеплавильного завода на сообщества ксилотрофных базидиомицетов южной тайги // Сиб. экологич. журн. 2000. № 6. С. 679–683.

Бурова Л.Г. Экология грибов макромицетов. М.: Наука, 1986. 222 с.

Воробейчик Е.Л., Давыдова Ю.А., Кайгородова С.Ю., Мухачева С.В. Исследование мелких млекопитающих Висимского заповедника: вклад в популяционную экотоксикологию? // Экологические исследования в Висимском биосферном заповеднике: Мат-лы конф., посвященной 35-летию Висимского заповедника / Под ред. Марина Ю.Ф. Екатеринбург, 2006. С. 108–129.

Жуков А.М. Грибные болезни лесов Верхнего Приобья. Новосибирск: Наука, 1978. 247 с.

Зайцев Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984. 424 с.

Игошина К. Н. Растительность Урала // Растительность СССР и зарубежных стран: Тр. Ботан. ин-та им. В.Л. Комарова. Серия III. Геоботаника. Вып. 16. М., Л.: Наука, 1964. С. 83–230.

Мухин В.А. Биота ксилотрофных базидиомицетов Западно-Сибирской равнины. Екатеринбург: УИФ "Наука", 1993. 230 с.

Мухин В.А., Веселкин Д.В., Брындина Е.В., Храмова О.А., Ушакова Н.В. Основные закономерности современного этапа эволюции микобиоты лесных экосистем // Грибные сообщества лесных экосистем: Мат-лы координац. исслед. М.; Петрозаводск: Изд-во Карельского НЦ РАН, 2000. С. 26–36.

Ставищенко И.В., Залесов С.В., Луганский Н. А. и др. Состояние сообществ дереворазрушающих грибов в районе нефтегазодобычи // Экология. 2002. V. 3. С. 175–184.

Трубина М.Р. Анализ состояния травянистой растительности в условиях хронического загрязнения кислыми газами: Автореф. дис. канд. биол. наук. Ин-т экологии растений и животных. Екатеринбург, 1996. 24 с.

Donk M.A. A conspectus of the families of Aphyllophorales // Persoonia. 1964. V. 3. Pt. 2. P. 199–324.

Tyler G. The impact of heavy metals pollution on forests: a case study of Gusum, Sweden // Ambio. 1984. V. 13. № 1. P. 18–24.