

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ

ПРОБЛЕМЫ ОБЩЕЙ И ПРИКЛАДНОЙ ЭКОЛОГИИ

Материалы молодежной конференции



Издательство «Екатеринбург»

1996

МИКОРИЗНЫЕ ГРИБЫ КАК ИНДИКАТОРЫ ТЕХНОГЕННЫХ НАРУШЕНИЙ ЭКОСИСТЕМ

Д.В. Весёлкин

Институт экологии растений и животных

УрО РАН, г. Екатеринбург

Симбиотические отношения, на протяжении миллионов лет существующие между грибами и высшими растениями (Келли, 1952; Каратыгин, 1993) имеют большое значение для симбионтов (Харли, 1963; Селиванов, 1981; Шубин, 1988). Данные отношения являются системообразующими для структурной единицы экосистем — консорции, которая в свою очередь является «основной ячейкой трансформации энергии в экосистеме» (Василевич, 1983; Миркин и др., 1989), что соответственно определяет высокую значимость микориз в структуре экосистем (Каратыгин, 1993). Около 80-90% сосудистых растений микотрофны (Селиванов, 1981; Каратыгин, 1993), причем в бореальной зоне высокая степень микотрофности характерна для эдификаторов лесных экосистем. На функциональную значимость микоризных ассоциаций указывает значительное количество углеводов, поглощаемых грибами из флюэмы растения-хозяина: по различным оценкам эта цифра составляет от 10 до 30% валового первичного продукта фотосинтеза (Одум, 1986; Ohtonen et al., 1993). Грибы, в свою очередь нормализуют минеральное питание древесных (Мелин и др., 1963; Харли, 1963; Селиванов, 1981; Бурова, 1986; Шубин, 1988), влияя также на ряд других, например, фотосинтетических, характеристик (Ohtonen et al., 1993).

На наш взгляд, своеобразное место, занимаемое микоризными грибами в наземных экосистемах, значительная роль микоризных ассоциаций в функционировании экосистем, а также имеющиеся указания на то, что степень микотрофности древесных пород во многих случаях коррелирует с их устойчивостью к атмосферному загрязнению (Heyser et al., 1988; Schaffers, Termorshuizen, 1989) определяет необходимость использования этой группы организмов при проведении мониторинга.

Как потенциальные объекты экологического мониторинга микоризные грибы и микоризы обладают определенными преимуществами по сравнению со многими другими объектами: высшие растения и их микобионты представляют возможность изучения экосистемных (трофических и топических) связей между ними, причем связи эти по своей облигатности и значимости, возможно, не имеют

равных в лесных экосистемах. Общеизвестно, что состояние, характер системы в целом, определяет не только состояние отдельных ее компонентов, но и в не меньшей степени и характер связей между различными компонентами (Васильевич, 1983). Поэтому, изучая микоризы — сами микоризные симбиозы, — являющиеся по существу «материализованными» экологическими связями, можно с большой долей вероятности ожидать появления новых закономерностей, которые возможно найдут применение в мониторинговых исследованиях.

Чтобы обрисовать возможность использования микоризных грибов в целях отслеживания нарушений и изменений в экосистемах нами проведен анализ доступной в настоящий момент информации с привлечением собственных данных. Рассматривались только нарушения или сдвиги, вызванные техногенным загрязнением, а также только реакция эктомикоризных грибов и соответственно эктомикориз. Мониторинг по микоризным грибам можно проводить на двух уровнях. Во-первых, отслеживая динамику сообществ микоризных грибов, в этом случае получаемая информация напрямую характеризует состояние грибов и лишь опосредованно состояние симбиотических отношений. Во-вторых, оценивая микоризы, при этом можно более или менее четко охарактеризовать сферу микоризообразования, то есть вплотную подойти к оценке интенсивности и степени изменения симбиотических отношений.

На возможность использования характеристик сообществ микоризных грибов в целях мониторинга указывалось неоднократно (Agarer, 1989; Fellner, 1989; Kovalski et al., 1989). Основанием для подобных выводов послужил ряд постоянно наблюдаемых при загрязнении феноменов. На настоящий момент установлено, что под влиянием загрязнений происходят изменения в видовом составе микоризных грибов как в глобальном и региональном масштабах, так и на локальном уровне (Markkola, Ohtonen, 1988; Малеев и др., 1989; Agarer, 1989; Gulden, Hiland, 1989; Kowalski et al., 1989; Шкараба и др., 1991). Во всех случаях регистрируется снижение видового богатства, причем по всей видимости в силу трофических особенностей микоризных грибов, их видовой состав претерпевает большие трансформации, чем состав других экологических групп (Шкараба и др., 1991; Петров, 1992). Этот факт лишний раз указывает на чувствительность симбиотрофов к техногенным вмешательствам и свидетельствует о перспективности слежения именно за этим компонентом микоценозов.

Наряду с обеднением видового богатства под действием загрязнения происходят изменения в структуре сообществ и прежде

всего в плодоношении микоризообразователей. Имеется ряд работ, свидетельствующих в пользу общего снижения обилия плодовых тел микоризообразователей при загрязнении (Fellner, 1989; Schaffers, Termorshuizen, 1989). Но, по видимому, в гораздо большей степени чем абсолютные значения плодоношения, выражены изменения в его структуре. При загрязнении окружающей среды в сообществах микоризных грибов наблюдается явление, получившее название «концентрации доминирования». При этом небольшое количество видов грибов образует подавляющее количество плодовых тел (Бурова, 1986; Agarer, 1989; Fellner, 1989). Подобное явление имеется, как известно и среди других групп организмов и отражает общее упрощение структуры экосистем, существующих в пессимальных условиях (Уиттекер, 1980). Как правило, обильно плодоносят при загрязнении виды, которые рассматриваются либо как факультативные микоризообразователи, либо как неспециализированные симбионты, способные образовывать микоризы со многими видами древесных растений. Красноречивыми примерами этой группы грибов являются *Paxillus involutus* и *Laccaria laccata* (Ruhling et al., 1984; Wellenborg et al., 1990), можно назвать и ряд других, например, — *Amanita muscaria* (Kovalski et al., 1989; Turnau, 1989). Эти виды не являются характерными только для нарушенных сообществ, но доля образуемых ими плодовых тел в естественных условиях как правило мала, в противоположность техногенно нарушенным местообитаниям. Обильному плодоношению в условиях загрязнения они обязаны, во-первых, высокой устойчивостью к поллютантам, способность переносить их очень высокие концентрации. Во-вторых, эти виды способны существовать в широком спектре абиотических и биотических условий, когда естественная лесная среда существенно деградирует. Данную группу грибов, в определенной степени тяготеющую к антропогенно измененным территориям, можно рассматривать как синантропную.

Исчезновение характерных для незагрязненных экосистем видов грибов и появление (или усиление позиций) новых, технотолерантных видов происходит, вероятно, в силу комплекса причин. Признается, что одной из таких причин может являться непосредственное действие токсикантов на грибы (Ohtonen et al., 1993), но чаще решающее значение придается все же трансформации под влиянием загрязнения ряда биотических и абиотических компонентов (Шубин, 1988; Петров, 1992; Fellner, 1989; Agarer, 1989), то есть косвенным по отношению к загрязнению факторам.

Такие характеристики сообществ микоризных грибов, как фенология и устойчивость плодоношения, пространственное размеще-

ние плодовых тел в условиях загрязнения еще не получили, насколько нам известно, должного освещения в литературе. Широкую известность получили факты накопления плодовыми телами микоризообразователей высоких концентраций поллютантов, как правило металлов и радионуклидов (Meisch et al., 1977; Карелина, 1985; Diett, 1987; Lepsova, Kral, 1988; Авессаломова, Смирнова, 1989). Однако принимая во внимание, что этим способом может быть получена лишь информация об уровне содержания поллютантов в экосистеме, но не о степени их нарушенности, мы не рассматриваем этот показатель.

Индуцируемые загрязнением перестройки структуры сообществ микоризных грибов, и, следовательно, перестройки в структуре консорций древесных, являются процессами экосистемного или во всяком случае биоценотического уровня. Это дает основания рассматривать обсуждаемые признаки в качестве экосистемных индикаторов. Анализируя имеющиеся на настоящий момент данные, можно выделить комплекс характеристик сообществ микоризных грибов, который может быть использован в целях оценки состояния экосистем, степени их нарушенности под влиянием техногенных загрязнений:

- 1) видовой состав микоризообразователей в целом и, отдельно, — состав массовых, доминирующих видов;
- 2) обилие плодовых тел микоризных грибов или их активность;
- 3) видовой состав и обилие плодовых тел технотолерантных или же синантропных видов.

Существуют попытки расположить изменения, описываемые данными характеристиками, в определенный ряд, который отражал бы последовательность событий при деградации экосистем (Fellner, 1989). С большей или меньшей уверенностью, однако, можно утверждать лишь, что естественные экосистемы будут обладать достаточным видовым богатством с невыраженным доминированием, при отсутствии заметного количества технотолерантных видов. Сильно нарушенные, напротив, — будут характеризоваться небольшим числом видов с доминированием немногих, возможно, технотолерантных видов. Последовательность и величина изменения данных характеристик, вероятно, будет специфична в каждом конкретном случае.

Полевые исследования сообществ микоризных грибов сопряжены с рядом методических трудностей и ограничений, которые связаны с особенностями биологии этой группы организмов. К таким особенностям относятся, например, неежегодное плодоношение многих грибов, значительная зависимость плодоношения гри-

бов от погодных условий года (Бурова, 1986; Bills et al., 1986; Mehus, 1986; Killick, 1989), что обуславливает необходимость проведения исследований в течение всего вегетационного периода и, соответственно, многих лет (Griesser, 1992). Это затрудняет однозначную интерпретацию получаемых данных и, соответственно, практическое использование предлагаемого метода.

Но уникальные особенности биологии симбиотрофов, их ассоциированность с растениями представляют возможность непосредственно наблюдать проявление симбиотических отношений, так как микоризы доступны прямому наблюдению и учету. По литературным данным, параметры микоризных ассоциаций связаны, с одной стороны, с микоценотическими характеристиками (Laiho, 1970; Ternorshuizen, Schaffers, 1989), а с другой, — коррелируют с жизненным состоянием растений, со степенью нарушенности или, наоборот, оптимальности их минерального питания, и как следствие с их устойчивостью к загрязнению (Heyser et al., 1988; Agarer, 1989; Meijstrik, 1989).

В результате проведенных нами исследований установлено, что в южнотаежных темнохвойных лесах Среднего Урала под влиянием выбросов медеплавильного комбината происходят существенные сдвиги в процессах микоризообразования у ели и пихты. В градиенте загрязнения изменяются многие качественные и количественные параметры. По нашему мнению, в качестве индикаторных признаков строения микориз можно рассматривать блок морфолого-анатомических характеристик. Сюда относятся: качественное и количественное разнообразие подтипов микоризных чехлов, соотношение простых и сложных микориз, максимальная разветвленность сложных микориз.

Как следует из таблицы 1, при наибольшем загрязнении отсутствуют микоризные окончания со сложными мицелиальными чехлами, — псевдопаренхиматическими и двойными, в то время как при среднем и фоновом уровне загрязнения эти чехлы представлены. Происходит также изменение разнообразия подтипов чехлов: при максимальном загрязнении — 3-4 подтипа, при среднем — 8, при фоновом — 5-6 подтипов. Наблюданная реакция хорошо согласуется с литературными данными, снижение разнообразия микоризных чехлов при загрязнении зафиксировано в ряде работ (Holopainen, 1989; Meijstrik, 1989; Metzler & Oberwinkler, 1989; Perrin & Estivalet, 1989; Шкараба и др., 1981; Ohtonen et al., 1993). Принято считать, что уменьшение разнообразия микориз обусловлено уменьшением разнообразия грибов-микоризообразователей.

Таблица 1

**Представленность мицелиальных чехлов
в градиенте загрязнения**

Поро- да	Уро- вень заг- ряз- нен.	Войлочные						Псевдопа- ренихма- тические			Двойные			Всего подтипов		
		A	B	B(п)	C	D	E	F	G	K	N	O	-	+	-	+
елъ	I	+	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	4
	II	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	-	-	8
	III	+	+	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	5
пихта	I	+	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	3
	II	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	+	8
	III	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+	-	+	6

Примечание: A,B,C,D,E,F,G,K,N,O — подтипы чехлов по И.А.Селиванову (1981). B(п) — псевдомикориза.
Уровни загрязнения: I — сильное; II — умеренное; III — фоновое.

В градиенте загрязнения обнаруживается также тенденция изменения формы микориз, о чем свидетельствует динамика таких характеристик, как максимальная разветвленность сложной микоризы и доля сложных микориз от всего количества микориз. Например, у ели максимальная разветвленность составляет при фоновом и среднем загрязнении около 30 микоризных окончаний на одну сложную микоризу, при сильном загрязнении это значение возрастает до 50 (табл. 2). При максимальном загрязнении наблюдается также возрастание доли сложных микориз в 1,5-2 раза по сравнению с контрольными значениями. В условиях вегетационных экспериментов (Blaschke, 1986), а иногда и в полевых исследованиях (Шкараба и др., 1991), наблюдалось подавление ветвления микориз и корней. Однако в натурных исследованиях отмечено сильное возрастание разветвленности (Ярмишко, 1984; Ritter et al., 1989). Вероятно этот параметр сильно зависит от вида растения, типа леса и вида загрязнения (в частности, при загрязнении тяжелыми металлами ветвление всегда возрастает).

Динамика обсуждаемых морфолого-анатомических характеристик в общем не противоречит литературным данным, в отличие от динамики количественных параметров, таких как плотность микориз и микоризных окончаний или интенсивности микоризации. Как и изменения в структуре сообществ микоризообразователей, структурные перестройки микориз отражают изменения, протекающие в консорциях растений, другими словами — структурные перестройки экосистем. Характер изменения рассмотренных параметров отражает, по нашему мнению, некоторые общие тенденции преобразования микориз при загрязнении экосистем. Поэтому эти признаки

Таблица 2

**Морфологические характеристики
микориз в градиенте загрязнения**

	ель			пихта		
	I	II	III	I	II	III
Максимальная разветвленность, шт.	51	31	30	30	17	12
Доля сложных микориз, %	13	8	8	8	4	3

Примечание: I — сильное загрязнение; II — умеренное загрязнение;
III — фоновое загрязнение.

Таблица 3

**Экологическая шкала состояния микориз ели и пихты
при техногенном загрязнении среды**

Степень трансформации микоризных ассоциаций	Чехлы	Максимальная разветвленность микориз	простые/сложные микоризы
	сложные	число подтипов	
сильная	-	3-4	<40 / <25
умеренная	+	8	>40 / 25-15
нулевая	+	5-6	>40 / >15

Примечание: в числителе — ель, в знаменателе — пихта.

могут послужить основой для построения простейшей экологической шкалы состояния микоризных симбиозов данных растений (табл. 3).

Предлагаемая шкала построена для темнохвойных лесов Среднего Урала и содержит три ступени трансформированности микориз, которые в самом общем виде соответствуют сильному, умеренному и фоновому уровню загрязнения экосистем. Материал, послуживший основанием для построения предлагаемой шкалы, собран в градиенте загрязнения Среднеуральского медеплавильного завода в трех зонах трансформации экосистем: импактной, буферной и фоновой. Тип загрязнения — пыль тяжелых металлов в сочетании с сернистым ангидридом (см.: Воробейчик, Садыков, Фарафонов, 1994). Таким образом, выделенные ступени трансформации микоризных ассоциаций примерно соответствуют степеням трансформации экосистем.

Нулевая ступень трансформированности микоризных ассоциаций характеризуется слабой, или умеренной интенсивностью ветвления микориз. Соотношение числа простых и сложных микориз минимально, количество типов чехлов — 5-6, сложные чехлы присутствуют.

При средней степени трансформированности микориз наблюдается несколько повышенная интенсивность ветвления, характерным, диагностическим признаком этой ступени является максималь-

ное разнообразие микоризных чехлов — 8 подтипов, среди которых представлены как простые, так и сложные.

В дальнейшем, по мере возрастания загрязнения, наступает ступень сильной трансформации микоризных симбиозов. Прежде всего она характеризуется полным отсутствием сложных чехлов и минимальным уровнем их разнообразия. Разветвленность микориз, напротив, достигает здесь своего максимума, о чем свидетельствуют не только самые высокие показатели максимальной разветвленности сложных микориз, но и самая высокая их представленность.

Предпринятый анализ имеющейся информации о реакции симбиотрофного блока микоценозов и самих микориз на техногенное загрязнение показывает принципиальную возможность их использования в целях индикации нарушений экосистем. Достоинство предлагаемого метода индикации нарушенности экосистем заключается в прямом отслеживании состояния системообразующих (существенных) экосистемных связей. Предложенная экологическая шкала состояния микоризных симбиозов темнохвойных пород является попыткой выбора наиболее индикационно значимых параметров состояния микориз. Кроме того, шкала состояния микориз может использоваться в качестве инструмента для более точного соотнесения степени трансформированности микориз со степенью изменения (деградации) естественных экосистем.

ЛИТЕРАТУРА

Авессаломова И.А., Смирнова Р.С. О биоиндикационной роли грибов при оценке состояния окружающей среды//В кн.: Биогеохимические методы при изучении окружающей среды. М., 1989, с.135-146.

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

Василевич В.И. Очерки теоретической фитоценологии. Л.: Наука, 1983. 248с.

Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонтов М.Г., Экологическое нормирование техногенных изменений наземных экосистем (локальный уровень). Екатеринбург: Наука, 1994.- 280 с.

Каратыгин И.В. Коэволюция грибов и растений. Спб.: Гидрометеоиздат, 1993. 118 с.

Карелина Л.В. Химический состав плодовых тел шляпочных грибов, произрастающих на различных расстояниях от источника эмиссии кальцийсодержащей пыли // Загрязнение природной среды кальцийсодержащей пылью. Рига,1985, с. 49-56.

Келли А. Микотрофия у растений. М.,1952. 238 с.

Малеев К.И., Мехоншин Л.Е., Переведенцева Л.Г., Петрухин Ю.А., Селиванов И.А., Старков С.Д., Шкараба Е.М. Влияние промышленного загрязнения на грибы и ассоциированные с ними лесные растения (на примере Пермского завода СМС) // Эколого-экон. аспекты охраны природы и рац.использов.природ.ресурсов Прикамья: Гор.науч.конф.по комплекс. науч.-техн.и соц.-экон. программе «Лес и Земля Зап.-Урал. Нечерноземья», Пермь, 1989, с.41-43.

Мелин Э., Нилссон Х., Хакскайлло Э. Передвижение катионов в сеянцы *Pinus virginiana* через микоризный мицелий // Микориза растений. М.: Изд-во с.-х. лит., 1963, с. 306-310.

Миркин Б.М., Розенберг Г.С., Наумова Л.Б. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии. М.:Наука,1989. 222 с.

Одум Ю. Экология. В 2 т. М., 1986. Т.2. 376 с.

Петров А.Н. Макромицеты-симбиотрофы в зоне действия аэро-промывбросов // Экология и плодоношение макромицетов — симбиотрофов древесных растений: Тез. докл. Петрозаводск. 1992. — с.47-48.

Селиванов И.А. Микосимбиотрофизм как форма консортивных связей в растительном покрове Советского Союза. М.: Наука, 1981. 232 с.

Уйттекер Р. Сообщества и экосистемы. М.:Прогресс, 1980. 327 с.

Харли Дж. Биология микоризы // Микориза растений. М.: Изд-во с.-х. лит., 1963, с.15-244.

Шкараба Е.М., Переведенцева Л.Г., Мехоншин Л.Е. Консортивные связи лесных растений с грибами в условиях промышленного загрязнения. — Экология,1991, 6. с.12-17.

Шубин В.И. Микоризные грибы Северо-Запада европейской части СССР. (Экологическая характеристика). Петрозаводск, Карельский филиал АН СССР, 1988. 194 с.

Ярмишко В.Т. Оценка состояния подземных органов растений в условиях промышленного загрязнения // Влияние промышленных предприятий на окружающую среду: Тез. докл. на Все-союз. школе 4-8 декабря 1984 г. в Звенигороде. Пущино, 1984. с. 230-231.

Agarer R. Impacts of artificial acid rain and liming on fruitbody production of ectomycorrhizal fungi // Ecol. and Appl. Aspects of Ecto-and Endomycorrhizal Assoc.: Pt 1. Proc. 2nd Eur. Symp. Mycorrhizae, 5-9 Aug.,1988.- Praha, 1989. P. 3-8.

Bills G.F., Holtzman G.I. and Miller O.K. Comparsion of ectomycorrhizal-basidiomycete communitites in red spruce versus northern hardwood forests of West Virginia // Can. J. Bot. 1986, 64. p. 760-768.

Blaschke H. Einflus von saurer Beregnung und Kalkung auf die Biomasse und Mykorrhisisierung der Feinwurzel // Forstw. Cbl. 1986, 105. s.324-329.

Diett G. Wildpilze speichern schwermetalle.- Umwelt, 1987, N 1-2, s.24-26.

Fellner R. Mycorrhiza-forming fungi as bioindicators of air pollution // Ecol. and Appl. Aspects of Ecto — and Endomycorrhizal Assoc.: Pt 1. Proc. 2nd Eur. Symp. Mycorrhizae, 5-9 Aug., 1988.- Praha, 1989. P. 115-120.

Griesser B. Mykosoziole der Grauerlen- und Sanddorn-Auen (A-*Inetum incanae*, *Hippophaetum*) am Hinterrhein (Domleschg, Schweiz).- Veroff. des Geobotanischen Institutes der ETH, Stiftung Rubel, Zurich, 109. Heft, 1992. 235 s.

Gulden G., Hiland K. Studies on the fungal flora in three plots along an air pollution gradient in Europe / 10th Congr. of Eur. Mycol., Tallinn, Estonian SSR, Aug., 1989: Adstr./ Inst. of Zool. fnd Bot. of the Estonian Acad. of Sci.-Tallinn, 1989. c. 42.

Heyser W., Iken J., Meyer F.H. Baumschaden und Mykotrophie.- Allg. Forstz., 1988, B.42, N 43, s.1174-1175.

Holopainen T. Ecological and ultrastructural response of Scots pine mycorrhizas to industrial polution // Ecol. and Appl. Aspects of Ecto — and Endomycorrhizal Assoc.: Pt 1. Proc. 2nd Eur. Symp. Mycorrhizae, 5-9 Aug., 1988.- Praha, 1989. p. 185-190.

Killick J. Ten fungus forays // Mycologist.-1989.-3, N1. p.28-30.

Kovalski S., Wojewoda W., Bartnik C., Rupik A. Micorrhizal species composition and infektion patterns in forest plantations exposed to different levels of industrial pollution // Ecol. and Appl. Aspects of Ecto — and Endomycorrhizal Assoc.: Pt 1. Proc. 2nd Eur. Symp. Mycorrhizae, 5-9 Aug., 1988.- Praha, 1989. p. 249-256.

Laiho O. Paxillus involutus as a mycorrhizal symbiont of forest trees // Acta For. Fenn. 1970, 106, p.1-72.

Lepsova A., Kral R. Lead and cadmium in fruiting bodies of macrofungi in the vicinity of a lead smelter.- Sci. Total Environ., 1988, V.76, N 2-3, p.129-138.

Markkola A.M., Ohtonen R. Mycorrhizal fungi and biological activity of humus layer in polluted pine forests in the surroundigs of Oulu.- Karstenia, 1988, V.28, N 1; p.45-47.

Mehus H. Fruit body production of macrofungi in some North Norwegian forest types // Nord.J.Bot., 1986, 6, p 679-702.

Meisch H.-U., Schmitt J.A., Reinle W. Schwermetalle in hoheren Pilzen. Cadmium, Zink und Kupfer.- Z.Naturforsch, 1977, B.32c, N 3-4, s.172-181.

Mejstrik V. Ectomycorrhizas and forest decline // Ecol. and Appl. Aspects of Ecto — and Endomycorrhizal Assoc.: Pt 1. Proc. 2nd Eur. Symp. Mycorrhizae, 5-9 Aug., 1988.- Praha, 1989. p. 325-338.

Metzler B., Obervinkler F. *Pinus sylvestris* Omycorrhizae and their reaction to acidity in vitro — aspects of bioindication // Ecol. and Appl. Aspects of Ecto — and Endomycorrhizal Assoc.: Pt 1. Proc. 2nd Eur. Symp. Mycorrhizae, 5-9 Aug., 1988.- Praha, 1989. p. 339-342.

Ohtonen R., Vare H., Markola A.M. et al. A review of forest soil biology under the influence of gaseous pollutants and CO₂. Aquilo Ser. Bot, 1993. 32: p. 41-54.

Perrin R., Estivalet D. Mycorrhizal associations and forest decline (yellowing of spruce) // Ecol. and Appl. Aspects of Ectoand Endomycorrhizal Assoc.: Pt 1. Proc. 2nd Eur. Symp. Mycorrhizae, 5-9 Aug., 1988.- Praha, 1989. p. 381-388.

Ritter T., Kottke I., Oberwinkler F. Vitality and ageing of the ectomycorrhizae of damaged and undamaged trees // Ecol. and Appl. Aspects of Ecto — and Endomycorrhizal Assoc.: Pt 1. Proc. 2nd Eur. Symp. Mycorrhizae, 5-9 Aug., 1988.- Praha, 1989. p. 415-421.

Ruhling A., Baath E., Nordgren A., Soderstrom B. Fungi in metal-contaminated soil near the Gusum brass mill, Sweden.- «AMBIO», 1984, V.13, N 1, p. 34-36.

Schaffers A.P., Termorshuizen A.J. A field survey on the relation between air pollution, stand vitality and occurrence of fruitbodies of mycorrhizal fungi, in plots of *Pinus sylvestris* // Ecol. and Appl. Aspects of Ecto — and Endomycorrhizal Assoc.: Pt 1. Proc. 2nd Eur. Symp. Mycorrhizae, 5-9 Aug., 1988.- Praha, 1989. p. 449-454.

Termorshuizen A.J., Schaffers A.P. The relation between fruitbodies of mycorrhizal fungi and their mycorrhizas // Ecol. and Appl. Aspects of Ecto — and Endomycorrhizal Assoc.: Pt 1. Proc. 2nd Eur. Symp. Mycorrhizae, 5-9 Aug., 1988.- Praha, 1989. p. 509-512.

Turnau K. The influence of industrial dusts on the mycorrhizal status of plants in_1_0Pino-Quercetum forest // Ecol. and Appl. Aspects of Ecto — and Endomycorrhizal Assoc.: Pt 1. Proc. 2nd Eur. Symp. Mycorrhizae, 5-9 Aug., 1988.- Praha, 1989. p. 529-534.

Willenborg A., Schmits D., Lelley J. Effects of environmental stress in factor on ectomycorrhizal fungi in vitro //Can.J.Bot.-1990.-68, N8. p.1741-1746.