

---

## **ВИДОВАЯ СТРУКТУРА ПОЧВЕННЫХ МИКОЦЕНОЗОВ В СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ ПРИБАЙКАЛЬЯ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЮ АЭРОПРОМВЫБРОСОВ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**О.А. Берсенева, В.П. Саловарова,  
А.А. Приставка, В.А. Мелентьев**

Биолого-почвенный факультет  
Иркутский государственный университет  
*ул. Сухэ-Батора, 5, Иркутск, Россия, 664003*

Изучена видовая структура почвенной микобиоты, включая видовое богатство и выравнивание видов в серых лесных почвах, находящихся вдоль градиента аэровыбросов Иркутского алюминиевого завода (ОАО «ИрКАЗ-РУСАЛ»).

**Ключевые слова:** видовое разнообразие, видовая структура, почвенная микобиота, серые лесные почвы, Иркутский алюминиевый завод.

Ухудшающееся состояние окружающей природной среды промышленно освоенных районов России начинает приобретать необратимый характер. Во многих городах России экологическая ситуация близка к критической, особенно сильное техногенное воздействие на природную среду выявлено в крупных промышленных городах, которые в настоящее время представляют собой техногенные провинции. Основную роль в загрязнении природной среды Прибайкалья играют предприятия металлургической промышленности. Одним из крупных металлургических комбинатов Прибайкалья является Иркутский алюминиевый завод, выбросы которого содержат токсические вещества и оказывают неблагоприятное действие на почвы и населяющие их микроорганизмы [3]. По имеющимся данным [1], изменения физико-химического состава почв, связанные с выбросами предприятия не прослеживаются начиная с 25 км от источника воздействия по факелу выбросов.

Почвенные микроскопические грибы являются неотъемлемой частью почвенной микобиоты, образуя в почве особый экогоризонт, они контролируют широкий спектр экосистемных функций: первичную и вторичную продуктивность, регенерацию биофильных элементов и др. [4]. Целлюлозоразрушающие микромицеты, являясь редуцентами экосистем, выполняют огромную роль в деструкции органического вещества почв, переводя его в доступные для продуцентов элементы питания, тем самым замыкая круговорот веществ. Признавая особую значимость микроорганизмов в устойчивом функционировании природных экосистем, следует отметить слабую изученность данного вопроса для наземных экосистем в условиях повышенного антропогенного воздействия.

Целью данной работы явилось изучение видовой структуры почвенных микромицетов, в том числе целлюлозоразрушающих в районе аэровыбросов Иркутского алюминиевого завода (ОАО «ИрКАЗ-РУСАЛ»).

**Материалы и методы исследования.** Для изучения почвенной микобиоты использовали образцы серых лесных почв, которые отбирали с опытных площа-

док, расположенных вдоль градиента аэровыбросов ОАО «ИрКАЗ-РУСАЛ» с учетом господствующей розы ветров. Образцы отбирались на расстоянии 0,5, 5, 15 и 25 км от «ИрКАЗ-РУСАЛ» из верхнего горизонта ( $A_1$ ) с глубины 5—7 см. Отбор образцов проводили в летний период 2007—2008 гг. в трехкратной повторности. Химический состав почв, выбранных для исследований видовой структуры микобиоты, был охарактеризован в ранее опубликованных работах [2].

Количественный состав микромицетов определяли методом посева почвенной суспензии разведением  $10^3$  на агаризованную питательную среду: сусло-агар, включающую пивное неохмеленное сусло — 150 мл; агар-агар — 15 г; водопроводную воду — 1000 мл, pH 5,0.

Учет целлюлозоразрушающих микромицетов проводили на среде Чапека следующего состава:  $\text{NaNO}_3$  — 2 г;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  — 1 г;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  — 0,5 г;  $\text{KCl}$  — 0,1;  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  — 0,01 г; целлюлоза — 1 г; вода водопроводная — 1000 мл, pH 6,0. Стерилизацию питательных сред осуществляли при 1 атм в течение 20 мин.

Идентификацию микромицетов проводили на основе культурально-морфологических признаков по определителям [5; 11; 12].

Для анализа видовой структуры почвенных сообществ микромицетов, в разной степени подвергающихся воздействию аэропромвыбросов, использовались кривые доминирования — разнообразия Р. Уиттекера [13].

Линеаризация кривых проводилась методом наименьших квадратов для линейной регрессии в среде Excel. Параметры линейного уравнения использовались как сравнительные критерии крутизны и высоты кривых доминирования-разнообразия.

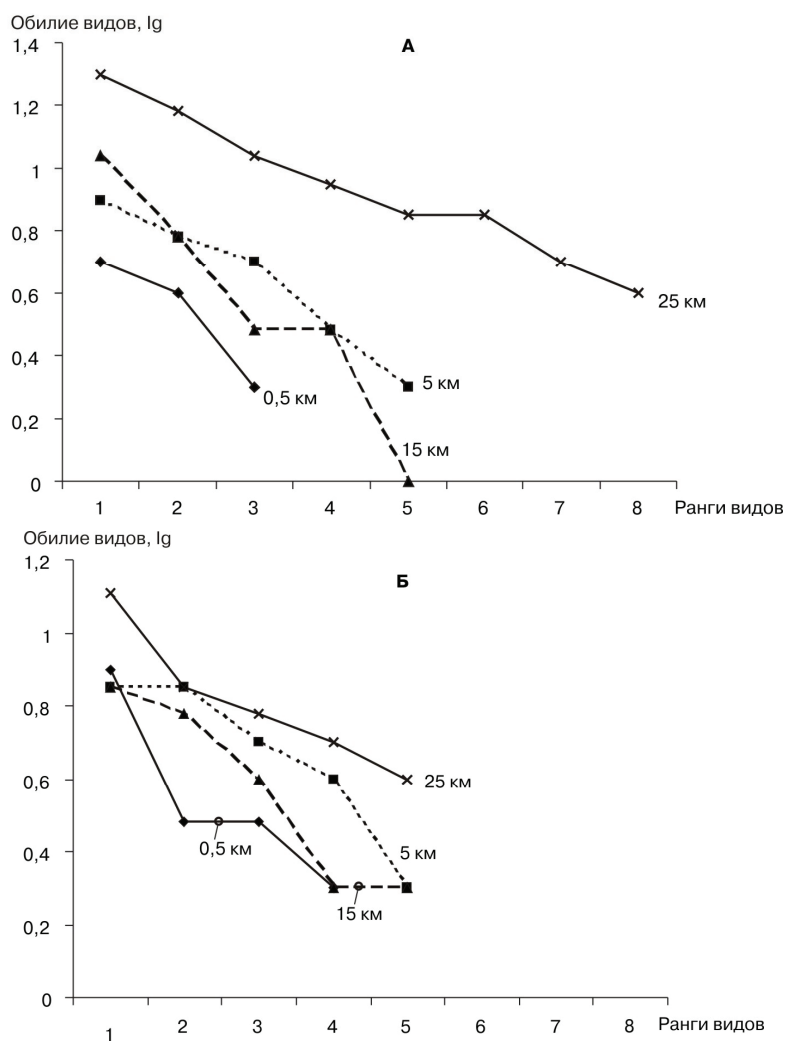
**Результаты и их обсуждение.** Из исследуемых образцов серых лесных почв всего было выделено и изучено 14 видов микромицетов, относящихся к девяти родам: *Mucor*, *Chaetomium*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Fusarium*, *Rhizopus*, *Verticillium*. Подавляющая часть выделенных видов микромицетов — типичные сапротрофы из отдела Deuteromycota класс Deuteromycetes который в таксономическом списке представлен шестью родами, принадлежащих к порядку Hyphomycetales, Eurotiales, Moniliales и Tuberculariales (табл. 1).

Таблица 1

Таксономический состав микобиоты, выделенной из исследованных серых лесных почв

Класс	Порядок	Семейство	Род	Вид
Zygomycetes	Mucorales	Mucoraceae	<i>Mucor</i> <i>Rhizopus</i>	sp. sp.
Ascomycetes	Sordariales	Chaetomiaceae	<i>Chaetomium</i>	sp.
Deuteromycetes	Hyphomycetales	Moniliaceae	<i>Alternaria</i>	sp.
	Eurotiales	Trichocomaceae	<i>Aspergillus</i>	<i>A. flavus</i> <i>A. niger</i>
			<i>Penicillium</i>	<i>P. funiculosum</i> <i>P. velutinum</i> <i>P. purpurogenum</i> sp.
			<i>Trichoderma</i>	<i>T. koningii</i> <i>T. viride</i>
	Moniliales	Moniliaceae	<i>Verticillium</i>	<i>V. album</i>
Tuberculariales	Tuberculariaceae	<i>Fusarium</i>	<i>F. oxysporum</i>	

Анализ видовой структуры почвенных сообществ микромицетов производился с использованием кривых доминирования — разнообразия Р. Уиттекера [13]. Данный метод позволяет охарактеризовать в сравнительном аспекте как видовое богатство, так и выравненность видов в сообществе. Многочисленные данные наблюдений ряда исследователей [7] подтверждают, что в богатых ненарушенных сообществах эквитабельность (выравненность) выше, чем в деградирующих. Структурный перекос и увеличение значимости видов-доминантов — реальный признак ухудшения качества среды. На рис. 1 по оси абсцисс представлена последовательность видов от наиболее обильного к наименее значимому, по оси ординат в логарифмическом масштабе указано обилие видов, оцениваемое как число колоний разных видов грибов, выросших на агаризованных средах сусло-агар (А) и среде Чапека (Б) (табл. 2).



**Рис. 1.** Кривые доминирования — разнообразия сообществ микромицетов, выделенных из почв пробных площадок, расположенных вдоль градиента аэропромвыбросов:

А — культивирование на среде сусло-агар; Б — культивирование на селективной среде Чапека в присутствии целлюлозы

**Видовой состав микромицетов, выделенных из почв, в разной степени подверженных воздействию аэропромвыбросов**

Расположение пробной площадки относительно «ИрКАЗ-РУСАЛ»	Число колоний на агаризованных средах		Виды микромицетов в порядке убывания обилия
	сусло-агар	Чапека	
0,5 км вдоль факела выброса	4	8	<i>Aspergillus niger</i>
	5	3	<i>Aspergillus flavus</i>
	2	3	<i>Penicillium purpurogenum</i>
	—	2	<i>Verticillium album</i>
5 км перед факелом выброса	6	7	<i>Aspergillus niger</i>
	5	7	<i>Penicillium funiculosum</i>
	8	2	<i>Penicillium velutinum</i>
	3	4	<i>Trichoderma koningii</i>
	—	5	<i>Penicillium purpurogenum</i>
	2	—	<i>Fusarium oxysporium</i>
15 км вдоль факела выброса (ст. Олха)	11	6	<i>Aspergillus niger</i>
	—	7	<i>Aspergillus flavus</i>
	6	—	<i>Penicillium sp.</i>
	1	4	<i>Penicillium purpurogenum</i>
	3	2	<i>Penicillium funiculosum</i>
	3	—	<i>Rhizopus sp.</i>
	—	2	<i>Chaetomium sp.</i>
	—	—	<i>Penicillium sp.</i>
25 км вдоль факела выброса (ст. Большой луг)	20	7	<i>Penicillium sp.</i>
	5	13	<i>Trichoderma viride</i>
	9	6	<i>Penicillium funiculosum</i>
	11	4	<i>Penicillium velutinum</i>
	15	—	<i>Mucor sp.</i>
	7	5	<i>Trichoderma koningii</i>
	7	—	<i>Rhizopus sp.</i>
	4	—	<i>Alternaria sp.</i>

Сравнительный анализ кривых рис. 1 и данных табл. 2 позволил установить следующие закономерные изменения видовой структуры микоценозов.

1. По мере удаления от источника воздействия увеличивается количество видов: четыре вида грибов вблизи предприятия, шесть видов — на расстоянии 5 км перед факелом выбросов, семь и восемь видов в 15 и 25 км соответственно по факелу выброса.

2. Во всех исследованных микоценозах доминируют представители *pp. Aspergillus* и *Penicillium*, причем чем выше уровень антропогенного воздействия, тем в большей степени наблюдается доминирование грибов *p. Aspergillus*. Представители *p. Trichoderma* обнаружены либо на достаточно большом расстоянии от источника воздействия (25 км), либо на пробной площадке, расположенной перед факелом выброса (табл. 2). Столь различная толерантность таксономических групп грибов к антропогенным факторам неоднократно обсуждалась в литературе [8; 9], и полученные нами данные согласуются с этими утверждениями.

3. По мере приближения к источнику воздействия увеличивается доля видов, способных расти на селективной целлюлозосодержащей среде, причем у многих микромицетов хороший рост отмечался только в присутствии целлюлозы. Соотношение «число видов на селективной среде/общее число видов» по мере удаления от предприятия составило 1/1, 5/6, 5/7 и 5/8, а соотношение «число колоний

на селективной среде/число колоний на среде сусло-агар — соответственно 3/2, 1/1, 1/1, 1/2. Это свидетельствует о том, что более высокая устойчивость к загрязнению определяется не только таксономией микроорганизма, но и его экологической функцией, например редукцией растительных полимеров и согласуется с утверждением В.Е. Лебедевой [5] о преимущественном развитии в антропогенно-нарушенных почвах микромицетов-целлюлозодеструкторов, а также с результатами исследований Е.В.Мицевича, [6] и Шебалова Н.М. [8], согласно которым с большой долей вероятности обнаружить микроорганизмы-деструкторы можно в местах, длительное время загрязненных выбросами металлургических производств.

4. Если исходить из положения, что высота и крутизна кривой «доминирования-разнообразия» являются критерием оценки состояния сообщества, то наблюдается закономерная ситуация: по мере приближения к источнику воздействия крутизна кривой увеличивается, снижается видовое разнообразие и обилие видов. Однако у сообществ, растущих на селективной среде, эта тенденция менее выражена: для них «дельты» констант линейной аппроксимации кривых контрольного (25 км) и опытного (0,5 км) участков как минимум в 1,5—2 раза ниже, чем у «полного» микоценоза (более точный расчет невозможен в силу недостаточного объема выборки).

Таким образом, проведенные исследования показали, что под действием промышленных выбросов ОАО «ИрКАЗ-РУСАЛ» происходит достоверное снижение численности и видового разнообразия, почвенных микромицетов — сокращается состав сообщества, а доминантами становятся резистентные виды — целлюлолитические микромицеты. Микромицеты-целлюлозодеструкторы проявляющие устойчивость к техногенным выбросам алюминиевых предприятий, можно использовать для оценки качества наземных экосистем и своевременного выявления районов, экологически неблагополучных в отношении различных техногенных экотоксикантов.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Белозерцева И.А.* Воздействие техногенных выбросов на почвенный покров верхнего Приангарья (на примере зоны влияния Иркутского Алюминиевого Завода) // *Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Материалы Российской научно-практической конференции 11.00.11.* — Иркутск: ИГУ, 2002. — С. 8—13.
- [2] *Берсенева О.А., Саловарова В.П.* О некоторых особенностях современного состояния почв и почвенной микобиоты в районе аэровыбросов Иркутского алюминиевого завода (ОАО «ИРКАЗ-РУСАЛ») // *Вестник РУДН.* — 2009. — № 3. — С. 5—9.
- [3] Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Иркутской области в 2005 году». — Иркутск, 2006.
- [4] *Евдокимова Г.А.* Биоэкология: почвенная биота в техногенных зонах // *Инженерная экология.* — 2007. — № 4. — С. 38—44.
- [5] *Лебедева Е.В., Ярмишко М.А., Румянцева А.В.* Микологическая индикация почв Череповецкого промышленного района / Е // *Микология и фитопатология.* — 2006. — № 1. — С. 39—46.
- [6] *Мицевич Е.В.* Микробные деструкторы некоторых органических соединений // *Прикладная биохимия и микробиология* — 2000. — Т. 36. — Вып. 6. — С. 457—459.

- [7] *Мухин В.А., Веселкин Д.В.* Основные закономерности современного этапа эволюции микобиоты лесных экосистем // Грибные сообщества лесных экосистем / Под ред. В.Г. Стороженко. — М.: Петрозаводск: Карел. Науч. Центр РАН, 2000. — С. 26—36.
- [8] *Шебалова Н.М.* Оценка степени загрязнения токсикантами серых лесных почв по структуре их микоценозов // Леса Башкортостана: современное состояние и перспективы. Материалы Региональной научно-практической конференции. 20—25 марта 1997 г. — Уфа, 2002. — С. 124—125.
- [9] *Hutchinson T.C., Reber H.H.* Impact of heavy metals on the degradative capabilities of soil microbial communities // *Biol. Fertil. Soil.* — 1993. — Vol. 16. — № 2. — P. 154—156.
- [10] *Lebedeva E.V., Nazarenko A.V.* Soil micromycetes in the area of Severstal metallurgical works (Cherepovets, Russia) // *Bot. Lithuanica.* — 1999. — Suppl. 3. — P. 107—110.
- [11] *Rifai M.A.* A revision of the genus *Trichoderma* // *Mycological Papers.* — 1969. — V. 116. — P. 1—56.
- [12] *Watanabe T.* Pictorial atlas of soil and seed fungi: Morphologies of cultured fungi and key to species. — Florida, 2000.
- [13] *Whittaker R.H.* Evolution and Measurement of Species Diversity // *Tarpon*, 1972. — V. 21. — P. 213—251.

## **SPECIFIC STRUCTURE OF THE SOIL MYCOCENOSES IN GREY FOREST SOIL OF PRIBAIKALYE SUBJECT TO INFLUENCE OF EMISSIONS OF IRKUTSK ALUMINIUM PLANT**

**O.A. Berseneva, V.P. Salovarova,  
A.A. Pristavka, V.A. Milentyev**

The faculty of biology and soil science  
Irkutsk State University  
*Sukhe-Bator str., 5, Irkutsk, Russia, 664003*

Specific structure of soil mycocenoses in region influence of emissions of the Irkutsk aluminium plant is studied.

**Key words:** specific variety, specific structure, soil micobiota, gray forest soils, Irkutsk aluminium plant.