

# КОМПЛЕКСЫ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ГРИБОВ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫБРОСОВ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА КОЛЬСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ

Корнейкова М.В.<sup>1</sup>, Лебедева Е.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, korneykova@inep.ksc.ru

<sup>2</sup>Ботанический институт им. В.Л. Комарова, mayk202@yandex.ru

## COMPLEXES OF MICROSCOPIC FUNGI IN THE FOREST ECOSYSTEM IMPACT ZONE EMISSIONS COPPER-NICKEL ENTERPRISES ON THE KOLA PENINSULA

Korneykova M.V., Lebedeva E.V.

The research of soil microscopic fungal complexes in the affected zone of copper-nickel enterprises "Severonikel" and "Pechenganikel" on the Kola Peninsula was made. There was a reduction of number, biomass and species diversity of microscopic fungi near emission sources. In the area of the plant "Severonikel" allocated 73 species in the area "Pechenganickel" – 27 species. Species of *Trichoderma viride* dominated in the soil heavily contaminated areas around the two plants.

Проблема загрязнения почв тяжелыми металлами актуальна на территории Кольского полуострова. Попав в окружающую среду, они оказывают вредное воздействие на растительность, животный мир и микобиоту. Микромицеты являются важным компонентом микробного сообщества почвы и могут служить индикаторами загрязнения почв.

На территории Мурманской области расположены два крупных медно-никелевых предприятия: «Североникель» (г. Мончегорск, 1935 г.) в подзоне северной тайги и «Печенганикель» (г. Заполярный и п. Никель, 1940 г.) в лесотундре. Комбинат «Североникель» выбрасывает в атмосферу в течение года: Cu – 870 т, Ni – 1600 т и SO<sub>2</sub> – 115 тыс.т (Состояние, 2014); комбинат «Печенганикель» – Cu – 157.6 т, Ni – 330.4 т и SO<sub>2</sub> – 102,7 тыс. т (<http://eco.rusvegia.com/doc/kgmk2010.pdf>). Выбросы предприятий оказывают негативное влияние на состояние воздуха, почвы и почвенной микобиоты, влияют на видовой состав, структуру их комплексов.

Цель данной работы – изучить комплексы почвенных микроскопических грибов в зоне воздействия выбросов медно-никелевых предприятий на Кольском полуострове.

Отбор почвенных образцов (Al-Fe-гумусовые подзолы) проводили на стационарных площадках, расположенных по градиенту (трансекте) загрязнения воздушными выбросами медно-никелевых предприятий. Численность микромицетов определяли методом посева на питательную среду сусло-агар с молочной кислотой. Биомасса и длина мицелия грибов были определены методом флуоресцентного микроскопирования с использованием темноокрашенных поликарбонатных мембранных фильтров Nucleopor Black с диаметром 0.8 мкм. Идентификацию микроскопических грибов проводили на основе культурально-морфологических признаков с использованием стандартных определителей.

Исследования в зоне воздействия комбината «Североникель» проводились в 2007-2009 гг., в районе комбината «Печенганикель» – в 2012-2014 гг. На основании состояния почвенного покрова и содержания приоритетных загрязнителей Cu и Ni в почве было проведено зонирование территорий по градиенту загрязнения. В районе комбината «Североникель» выделено 3 зоны: *зона сильного загрязнения* распространяется на небольшое расстояние от комбината (до 3 км); *зона среднего загрязнения* – до 25 км; *фоновая зона* – на расстоянии 50 км от источника выбросов. В районе комбината «Печенганикель» выделено 4 зоны: *сильного загрязнения* – до 3 км от источника выбросов; *среднего загрязнения* – до 16 км, *слабого загрязнения* – до 25–30 км в юго-западном направлении и *фоновая зона* – в 50 км от завода (Евдокимова и др., 2014).

**Численность микроскопических грибов.** Еще в конце прошлого столетия была выявлена устойчивость грибов к высоким концентрациям тяжелых металлов (Cu, Ni, Co) в почвах. В эпицентре загрязнения выбросами комбината «Североникель» (грунты промышленной площадки) микромицеты были абсолютными доминантами в микробном комплексе на фоне ингибированного прокариотного компонента (Евдокимова, 1995). Однако их численность и в 70-е годы XX столетия и в настоящее время достоверно снижается вблизи медно-никелевых предприятий (рис. 1А, 2А). В зоне воздействия комбината «Североникель» численность почвенных микромицетов начинает повышаться на расстоянии 10-15 км от комбината, достигая 100-125 тыс. КОЕ в 1 г против 0.1-3.0

тыс. КОЕ/г вблизи источника выбросов. В районе комбината «Печенганикель» численность грибов существенно увеличивается в 16 - 30 км, достигая 400 тыс. КОЕ/г, что в 40 раз больше, чем вблизи завода.

Данные по биомассе грибов, рассчитанные на основании прямого микроскопирования, свидетельствуют о глубокой деградации почв в зоне воздействия комбината (рис. 1 Б, 2 Б). Биомасса почвенной микобиоты в зоне сильного загрязнения в районе комбината «Североникель» в 2 – 6 раз меньше, чем в фоновой почве, а зоне воздействия комбината «Печенганикель» почти в 14 раз. Если ингибированы процессы размножения, то подавлены и другие аспекты физиологической активности микроорганизмов.

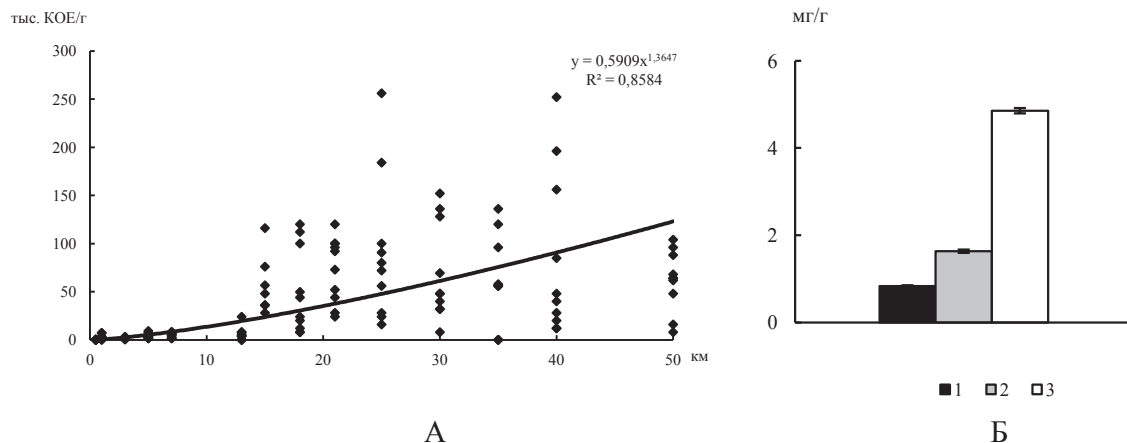


Рисунок 1. А – Численность (тыс. КОЕ/г); Б – биомасса (мг/г) грибов в почве по градиенту загрязнения от комбината «Североникель»; расстояние: 1- 5 км; 2 – 15км; 3 – 50 км

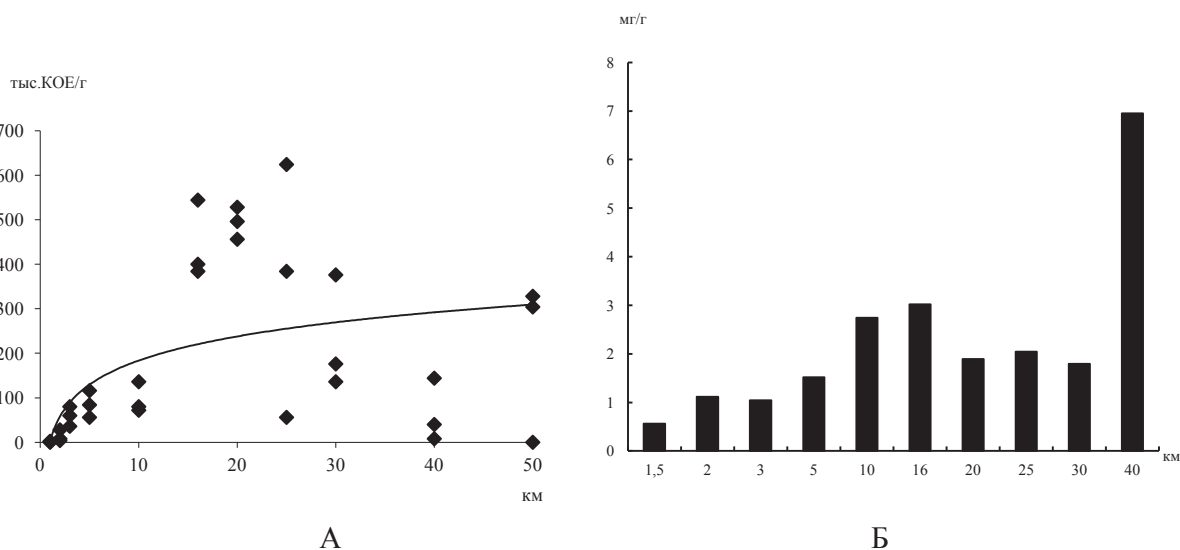


Рисунок 2. А – Численность (тыс. КОЕ/г); Б - биомасса (мг/г) грибов в почве по градиенту загрязнения от комбината «Печенганикель»

**Видовое разнообразие и структура комплексов почвенных микроскопических грибов** За все годы изучения грибного комплекса в районе комбината «Североникель» (период исследований охватывает 70-90е гг. и 2007-2009 гг.) из почвы зоны сильного загрязнения было выделено 39 видов микромицетов, зоны среднего загрязнения – 49 видов и фоновой участка 54 вида. Степень сходства видового состава комплексов почвенных микроскопических грибов зоны сильного загрязнения и фоновой участка составляет 50%, тогда как зоны среднего загрязнения и фоновой 75%, зоны сильного и среднего загрязнения - 55%. На всех участках по видовому разнообразию доминировали грибы рода *Penicillium*. Особый интерес представляет увеличение доли представителей рода *Aspergillus* от 7% в фоновой почве до 13% в сильнозагрязненной. Грибы данного рода доминируют в южных почвах, тенденция к увеличению их разнообразия в антропогенно-загрязненных почвах отмечалась ранее рядом исследователей (Лебедева, 1993; Зачиняева, Лебедева, 2005; Марфенина, 2005) Доля представителей порядка *Mucorales*, как известно, чувствительных

к разного рода антропогенным загрязнениям, снижается с 11% в фоновой почве до 5 % в сильно-загрязненной. В зоне сильного загрязнения доминируют виды *Penicillium spinulosum*, *P. glabrum*, *Trichoderma viride*, в фоновой - *P. implicatum*, *Umbelopsis isabellina*, *Mortierella longicollis*. Необходимо отметить, что в настоящее время в загрязненной почве отмечено некоторое увеличение разнообразия грибов по сравнению с фоновой за счет развития эвритопных видов: *P. aurantiogriseum*, *P. canescens*, *P. corylophilum*, *P. decumbens*, *P. spinulosum*. Данные виды отличаются широким диапазоном толерантности к меди и никелю. В почве зоны сильного загрязнения не выявлены виды грибов, выделяемые из фоновой почвы: *Acremonium kiliense*, *Aureobasidium pullulans*, *Gliocladium fimbriatum*, *Mortierella ramanniana*, *M. longicollis*, *Mucor griseo-cyanus*, *M. racemosus*, *Penicillium adametzii*, *P. brevicompactum*, *P. citrinum*, *P. commune*, *P. cyaneum*, *P. janczewskii*, *P. lanoso-coeruleum*, *P. lividum*, *P. notatum*, *P. steckii*, *P. variabile*, *P. viridicatum*, *P. verrucosum*, *Torula herbarum*, *Trichoderma hamatum*, *T. lignorum*, *Umbelopsis isabellina*. Однако отмечалось появление таких грибов, как *Aphanocladium aranearum*, *Aspergillus fumigatus*, *A. terreus*, *A. ustus*, *Penicillium aurantiogriseum*, *P. funiculosum*, *P. lilacinum*, *P. luteum*, *P. ochrochloron*, *P. jensenii*, *Philophora melinii*.

Видовое разнообразие комплексов почвенных микроскопических грибов в районе комбината «Печенганикель» представлено 8 видами в зоне сильного загрязнения, 10 – в зоне среднего загрязнения, 14 – в зоне слабого и 18 – на фоновом участке (табл.). Низкое видовое разнообразие микромицетов в зоне комбината «Печенганикель» по сравнению с комбинатом «Североникель» связано с более коротким периодом исследований в этом районе (2012-2014 гг.), а также с расположением завода в лесотундровой зоне. Степень сходства видового состава комплексов микромицетов сильнозагрязненного и фоновых участков была наименьшей и составила 30%, тогда как в остальных вариантах изменялась в пределах 45-65% и наибольшей была для участков сильного и среднего загрязнения и среднего и слабого загрязнения.

**Таблица. Видовое разнообразие комплексов микроскопических грибов почвы в зоне воздействия комбината «Печенганикель»**

Вид	Расстояние от завода, км			
	3	16	30	50
<i>Alternaria alternata</i> (Fr.) Keissl.		+	+	
<i>Aureobasidium pullulans</i> (De Bary) Arnaud	+	+	+	+
<i>Aureobasidium pullulans</i> var. <i>melanogenum</i> (De Bary) Arnaud			+	
<i>Cladosporium cladosporioides</i> (Fresen.) G.A. de Vries		+	+	+
<i>Gliomastix murorum</i> var. <i>murorum</i> (Corda) S. Hughes				+
<i>Gongronella butleri</i> (Lendn.) Peyronel et Dal Vesco	+	+		
<i>Memnoniella echinata</i> (Rivolta) Galloway				+
<i>Mortierella longicollis</i> Dixon-Stew.				+
<i>Mucor hiemalis</i> Wehmer	+	+	+	+
<i>Myxotrichum deflexum</i> Berk.				+
<i>Penicillium canescens</i> Sopp				+
<i>P. chermesinum</i> Biourge				+
<i>P. decumbens</i> Thom			+	
<i>P. hirsutum</i> var. <i>hirsutum</i> Dierckx			+	
<i>P. glabrum</i> (Wehmer) Westling			+	+
<i>P. implicatum</i> Biourge				+
<i>P. lividum</i> Westling				+
<i>P. multicolor</i> Grig.-Man. et Porad.	+	+	+	+
<i>P. raistrickii</i> G.Sm.	+	+	+	
<i>P. simplicissimum</i> (Oudem.) Thom			+	
<i>P. spinulosum</i> Thom		+	+	+
<i>P. thomii</i> Maire		+		+
<i>P. trzebinskii</i> K.M.Zaleski	+	+	+	
<i>Phoma eupyrena</i> Sacc.				+
<i>Torula lucifuga</i> Oudem.	+			
<i>Trichoderma viride</i> Pers.	+			+
<i>Umbelopsis isabellina</i> (Oudem.) W.Gams			+	+

Грибы р. *Penicillium* также составляли почти 50% от общего количества выделенных видов. Вид *Torula lucifuga* встречался только в почве сильнозагрязненного участка, а виды *Gliomastix murorum* var. *murorum*, *Memnoniella echinata*, *Mortierella longicollis*, *Muxotrichum deflexum*, *Penicillium canescens*, *P. chermesinum*, *P. implicatum*, *P. lividum*, *Phoma eupyrena* – только в фоновой. В зоне сильного загрязнения по обилию доминировал гриб *Trichoderma viride*, на участке со слабым загрязнением – *P. trzebinskii*; в зоне среднего загрязнения и на фоновом участке – *P. raistrickii*.

Таким образом, в зоне воздействия выбросов медно-никелевых предприятий происходит снижение численности и биомассы микроскопических грибов вблизи источников выбросов. Видовое разнообразие микромицетов также сокращается и зависит от зоны расположения комбината, в районе «Североникеля» выделено 73 вида, в зоне «Печенганикеля» – 27 видов. Вид *Trichoderma viride* доминировал в почве сильно загрязненных участков в районе обоих комбинатов.

#### Литература

Евдокимова Г.А. Эколого-микробиологические основы охраны почв Крайнего Севера. Апатиты. 1995. Изд. КНЦ РАН, 272 с.

Евдокимова Г.А., Мозгова Н.П., Корнейкова М.В. Содержание и токсичность тяжелых металлов в почвах зоны воздействия газоздушных выбросов комбината «Печенганикель» // Почвоведение. № 5. 2014. С. 625–631.

Зачиняева А.В., Лебедева Е.В. Микромицеты загрязненных почв Северо-западного региона России и их роль в патогенезе аллергических форм микозов // Микология и фитопатология. 2005. Том 37, вып. 5. С. 69–73.

Лебедева Е.В. Микромицеты почв в окрестностях комбината цветной металлургии на Кольском полуострове // Микология и фитопатология. 1993. Т.27, вып.1. С. 12–17.

Марфенина О.Е. Антропогенная экология почвенных грибов. М.: Медицина для всех, 2005. 196 с.

Состояние и охрана окружающей природной среды Мурманской области в 2013 г. Доклад. Мурманск. 2014. 75 с.

### РОЛЬ ФИТОПАТОГЕННЫХ ГРИБОВ АССОЦИАТИВНЫХ КОМПЛЕКСОВ С НАСЕКОМЫМИ-КСИЛОФАГАМИ В УСУХАНИИ ЕЛОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ

Ларинина Ю.А.<sup>1</sup>, Блинцов А.И.

Белорусский государственный технологический университет, Минск, lesya25106@mail.ru<sup>1</sup>

### THE ROLE OF PHYTOPATHOGENIC FUNGI ASSOCIATED WITH STEM PESTS IN SPRUCE STANDS DESICCATION

Larinina Y.A.<sup>1</sup>, Blintsov A.I.

Work on identifying the role of stem pests in the transfer of pathogens of spruce trees the identification of species composition and occurrence of harmful fungi associated with stem pests was started for the first time in Belarus. The samples of phloem and sapwood with bark beetles galleries were collected in the drying out spruce stands, disease causing agents are allocated in pure cultures and its species identification is carried out according to the morphological features. Unknown uncultivated fungal species from *Ascomycota* was identified on *Ips typographus* imago with methods of genetic analysis (Identification number in the Gene Bank NCBI is FJ824637.1).

Во второй половине XX в. в литературе появились первые сведения о возможном заносе насекомыми в проводящие ткани хвойных пород грибов синевы древесины, а также высказывания об активной роли данных грибов в усыхании растения-хозяина. В конце XX – начале XXI вв. в странах Западной и Восточной Европы, в Америке, Японии стали проводиться активные исследования в области короедно-грибных комплексов [1–4]. Было установлено, что агрессивные виды короедов, которые являются главной причиной быстрого массового усыхания хвойных лесов, являются переносчиками оphiостомовых грибов из семейства *Ophiostoma taceae* Nanf., родов *Ceratocystis* Ellis et Halsted, *Ophiostoma* H. & P. Syd., *Leptographium* Lager et Mel. (класс *Ascomycetes*). Такие ассоциации достаточно широко распространены и часто имеют обязательный характер [5]. Грибы, споры которых заносятся стволовыми вредителями во флоэму растения-хозяина, вызывают нарушение транспирации и других процессов жизнедеятельности растения, и