

УДК 582.28 : 614.7 (470.21)

© М. В. Корнейкова,<sup>1</sup> Г. А. Евдокимова,<sup>1</sup> Е. В. Лебедева,<sup>2</sup> А. А. Чапоргина<sup>1</sup>**КОМПЛЕКСЫ МИКРОМИЦЕТОВ В ВОЗДУХЕ АНТРОПОГЕННО-ЗАГРЯЗНЕННЫХ  
ТЕРРИТОРИЙ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА**KORNEYKOVA M. V., EVDOKIMOVA G. A., LEBEDEVA E. V., CHAPORGINA A. A. THE COMPLEXES  
OF MICROMYCETES IN AIR OF ANTHROPOGENICALLY POLLUTED AREAS OF KOLA PENINSULA<sup>1</sup> Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, Россия<sup>2</sup> Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия<sup>1</sup> Institute of the Industrial Ecology Problems of the North Kola Science Centre RAS, Apatity, Russia<sup>2</sup> Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia  
korneykova@inep.ksc.ru

Проведен анализ микобиоты воздушной среды по градиенту загрязнения от медно-никелевого комбината «Печенганикель» и Кандалакшского алюминиевого завода методом осаждения микромицетов с использованием автоматического пробоотборника воздуха ПУ-1Б в летне-осенний период 2012—2013 гг. Забор воздуха проводили на высоте 1.1 м от поверхности почвы. Было показано, что численность микроскопических грибов в воздухе вблизи медно-никелевого комбината снижается на порядок по сравнению с удаленными участками с ( $246 \pm 6$  до  $23 \pm 14$  КОЕ/м<sup>3</sup>). Вблизи алюминиевого завода, напротив, отмечается максимальное количество микромицетов ( $900 \pm 225$  КОЕ/м<sup>3</sup>), почти в 5 раз превышающее их численность на удаленных участках ( $160 \pm 65$ — $290 \pm 150$  КОЕ/м<sup>3</sup>). В воздушной среде, подверженной воздействию выбросов данных предприятий, формируются специфичные комплексы микромицетов, отличные от фоновых. Видовое разнообразие комплексов микромицетов-аэробиионтов в зоне воздействия газовоздушных выбросов медно-никелевого комбината представлено 14 видами, в районе алюминиевого завода — 27 видами. Наибольшее количество видов в зоне воздействия выбросов обоих комбинатов относится к роду *Penicillium*. Вид *P. raistrickii* доминировал вблизи обоих комбинатов, *Gongronella butleri* — только в зоне медно-никелевого комбината, *Cladosporium oxysporum* — в районе алюминиевого завода.

Ключевые слова: микроскопические грибы, видовое разнообразие, воздушная среда, загрязнение, фтор, тяжелые металлы.

The analysis of air mycobiota along the gradient of pollution from copper-nickel plant «Pechenganickel» and Kandalaksha Aluminum plant was made by deposition method using an automatic air sampler PU-1B in the summer—autumn period of 2012—2013. The combustion air conducted at the height of 1.1 m above the ground. The number of microscopic fungi in the air near the copper-nickel plant (up to 5 km) decreased by an order of magnitude compared to the remote plots ( $246 \pm 6$  to  $23 \pm 14$  CFU/m<sup>3</sup>). Near the Aluminum plant, in contrast, the maximum number of micromycetes ( $900 \pm 225$  CFU/m<sup>3</sup>) was noted, which is almost 5 times greater than their numbers at the remote plots ( $160 \pm 65$ — $290 \pm 150$  CFU/m<sup>3</sup>). In the air exposed to emissions of plants, it was revealed a formation of specific complexes micromycetes different from the background. Species complexes of micromycetes — aerobionts in the impact zone of copper-nickel plant is represented by 14 species, and in the area of aluminum plant — by 27 species. The greatest number of species in the zone of emissions from both plants refers to the genus *Penicillium*. *P. raistrickii* dominated near both plants, *Gongronella butleri* — only in the zone of copper-nickel plant, *Cladosporium oxysporum* — in the area of aluminum plant.

Key words: microscopic fungi, species diversity, air, pollution, fluorine, heavy metals.

Воздушная среда обитания неблагоприятна для развития микроорганизмов вследствие недостаточного количества питательных веществ или их полного отсутствия, ультрафиолетового облучения и высушива-

ния. Однако микроорганизмы способны длительный период сохранять свою жизнеспособность в воздухе. Главным источником загрязнения воздушной среды является почва. Микроорганизмы попадают в воздух

также с открытых водоемов, от человека, животных, растений.

Количество микроорганизмов в воздухе может колебаться в широких пределах и достигать десятков тысяч в 1 м<sup>3</sup>. Наиболее загрязнен воздух крупных промышленных городов (Bogomolova et al., 2012). Микроорганизмы воздуха очень разнообразны, но в больших количествах в нем представлены споровые и пигментные бактерии, а также споры грибов, имеющие защитные механизмы к неблагоприятным факторам.

Два последних десятилетия активно изучаются микромицеты из воздуха городских территорий и помещений. Выявлено воздействие на комплексы грибов-аэробиев как климатических, так и антропогенных факторов. В городских экосистемах увеличилась встречаемость потенциально патогенных микроскопических грибов (Khan et al., 1994; Ivanova, Kirtsideli, 1995; Li, Kendrick, 1995; Marfenina et al., 1996; Takahashi, 1997; Bogomolova et al., 1999; Koch et al., 2000; Petrova-Nikitina et al., 2000; Egorova, Klimova, 2005; Zhdanova et al., 2006).

На территории Мурманской обл. расположены крупные промышленные предприятия, такие как Кандалакшский алюминиевый завод (КАЗ), медно-никелевый комбинат «Печенганикель». Выбросы предприятий оказывают негативное влияние на состояние почвы и почвенной микобиоты, влияют на видовой состав, структуру комплексов микромицетов, увеличивая долю условно-патогенных грибов (Zachinyaeva, Lebedeva, 2003; Kireeva et al., 2005; Marfenina, 2005; Evdokimova et al., 2007, 2013; Korneykova, 2013).

Поступление в атмосферу загрязняющих веществ весьма значительно. Комбинатом «Печенганикель» выбрасывается в атмосферу в течение года твердых ве-

ществ — 6238.2 т, SO<sub>2</sub> — 102 007, Ni — 330.4, Cu — 157.6 т (Monitoring., 2010). От Кандалакшского алюминиевого завода в настоящее время в атмосферу поступает в течение года неорганической пыли — 500 т, F — 250 т, смолистых веществ — 132 т (Evdokimova et al., 2013).

Целью настоящей работы является проведение микологической оценки атмосферного воздуха над участками, расположенными в зонах воздействия алюминиевого и медно-никелевого предприятий в высоких широтах.

## Материалы и методы

В ходе исследования был выполнен отбор проб воздуха по трансекте градиента загрязнения аэротехногенными выбросами комбината «Печенганикель» в юго-западном направлении с шагом 1—5 км и общей протяженностью 50 км (18—21 июня 2012 г.) и в зоне воздействия выбросов Кандалакшского алюминиевого завода на участках, расположенных в 0,5, 2, 5, 10, 20, 50 км от источника выбросов (10 июня 2012 г., 11 сентября 2012 и 2013 гг.). Координаты участков и их описание приведены в табл. 1 и 2. Все участки занимают автономные позиции ландшафта.

Отбор проб воздуха над площадками осуществляли на высоте 1.1 м автоматическим переносным пробоотборником ПУ-1Б, с принудительным осаждением микробов из воздуха на поверхность питательной среды — мясо-пептонный агар и суело-агар. Пропускали по 250 л воздуха на каждой площадке в 3 повторностях. Инкубацию проводили при 27 °С. На 7-е сутки подсчитывали количество образовавшихся колоний.

Таблица 1

Характеристика участков по юго-западному градиенту загрязнения от комбината «Печенганикель»

Расстояние от источника загрязнения, км	Координаты	Мощность горизонта 0, см	Характеристика участка
1	69°24'25" с. ш., 30°13'04" в. д.	Почва эродирована	Ивняк с куртинами хвоща на эродированной почве (в черте города)
2	69°24'27" с. ш., 30°11'25" в. д.	» »	Березняк с редкими куртинами хвоща на эродированной почве
3	69°23'44" с. ш., 30°10'42" в. д.	» »	Сосняк брусничный с примесью березы
5	69°23'33" с. ш., 30°06'05" в. д.	0—11	Сосняк кустарничковый с примесью березы. Напочвенный покров: вороника > брусника
10	69°23'09" с. ш., 29°56'12" в. д.	0—5 (7)	Сосняк кустарничковый с примесью березы. Напочвенный покров: вороника > голубика
20	69°21'46" с. ш., 29°45'11" в. д.	0—3 (7)	Сосняк кустарничково-моховый. В напочвенном покрове доминируют зеленые мхи и брусника
25	69°19'11" с. ш., 29°40'20" в. д.	0—3	Сосняк брусничный с примесью березы. Напочвенный покров: брусника > багульник, лишайники
30	69°17'47" с. ш., 29°34'08" в. д.	0—5 (7)	То же
40	69°13'36" с. ш., 29°21'31" в. д.	0—10 (15)	Сосняк кустарничково-зеленомошный. Напочвенный покров: черника > багульник > брусника, зеленые мхи
50	69°07'56" с. ш., 29°16'32" в. д.	0—5	Сосняк лишайниково-кустарничковый. Напочвенный покров: голубика > черника > вороника, лишайники

Таблица 2

## Характеристика участков по северному градиенту загрязнения от Кандалакшского алюминиевого завода

Расстояние от источника загрязнения, км	Координаты	Мощность горизонта 0, см	Характеристика участка
0.5	67°11'52'' с. ш., 32°25'16'' в. д.	0—5	Ивняк с примесью березы и сосны. Напочвенный покров: вороника > осоки
2	67°12'43'' с. ш., 32°25'43'' в. д.	0—5	Сосняк вороничный. Напочвенный покров: вороника > брусника
5	67°14'08'' с. ш., 32°24'22'' в. д.	0—2	Сосняк кустарничково-сфагновый. Напочвенный покров: брусника > вороника > голубика > багульник
10	67°16'30'' с. ш., 32°26'26'' в. д.	0—2	Сосняк кустарничково-сфагновый. Напочвенный покров: брусника > вороника > черника > багульник
20	67°21'02'' с. ш., 32°28'11'' в. д.	0—3	Сосняк кустарничковый. Напочвенный покров: вороника > брусника > багульник
50	67°33'32'' с. ш., 32°05'58'' в. д.	0—2	Сосняк кустарничково-моховой сфагновый. Напочвенный покров: брусника > вороника > лишайники

Расчет численности микромицетов в  $1 \text{ м}^3$  воздуха проводили по формуле  $C = 4P$ , где  $C$  — количество микромицетов в  $1 \text{ м}^3$  воздуха,  $P$  — количество колоний на чашке, 4 — коэффициент пересчета на  $1 \text{ м}^3$ .

В статье приведены данные по численности микромицетов в воздухе в районе комбината «Печенганикель» за 2012 г. и средняя численность микроскопических грибов в зоне воздействия КАЗ за два сезона (2012—2013 гг.).

Анализ таксономического разнообразия грибов выполнен на основе культурально-морфологических признаков с использованием определителей (Raper, Thom, 1968; Klich, 2002; Domsh et al., 2007; Crous et al., 2009; Samson et al., 2010; Seifert et al., 2011; Guarro et al., 2012). Наименование видов и их систематическое положение приведены по базе Index Fungorum (2014). Статистическую обработку проводили в программах Excel и Statistica.

В результате проведенной работы дополнена коллекция культур микроскопических грибов, включенная в зарегистрированную в международном каталоге гербариев мира коллекцию Лаборатории наземных экосистем Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН (с акронимом INEP — Herbarium of Institute of the Industrial Ecology Problems of the North

of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences).

## Результаты и обсуждение

**Численность микроскопических грибов.** Количество грибных колониеобразующих единиц вблизи комбината «Печенганикель» было ниже ( $2—22 \text{ КОЕ/м}^3$ ), чем на удаленных площадках в лесных экосистемах ( $55—250 \text{ КОЕ/м}^3$ ) (рис. 1). В ранее опубликованных работах (Evdokimova et al., 2012) отмечалось бактериальное загрязнение воздуха вблизи данного промышленного центра, чему немало способствовала эродированная и без наземной растительности почва этих территорий. Прослеживалась прямая зависимость содержания грибных спор в воздухе от их содержания в почве. В основном это споры, устойчивые к УФ-облучению и высушиванию. Увеличение численности грибов на удаленных участках, расположенных в лесу, можно объяснить попаданием на чашки грибных спор, вовлекаемых потоком воздуха с поверхности растений.

Максимальная численность грибов в зоне воздействия газовоздушных выбросов Кандалакшского алюминиевого завода выявлена над самым ближним

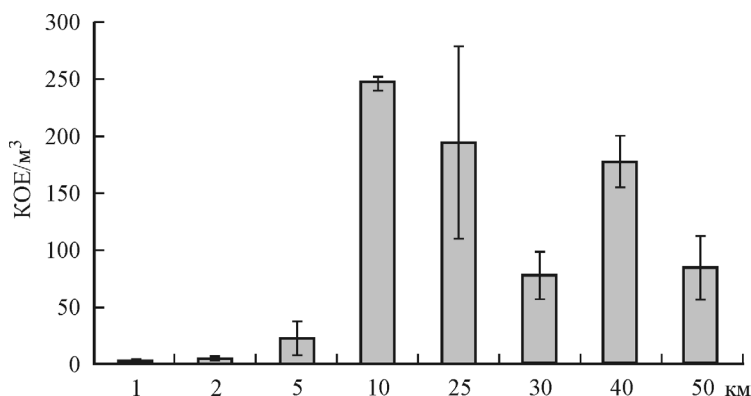


Рис. 1. Численность микроскопических грибов в воздухе по градиенту загрязнения выбросами комбината «Печенганикель».

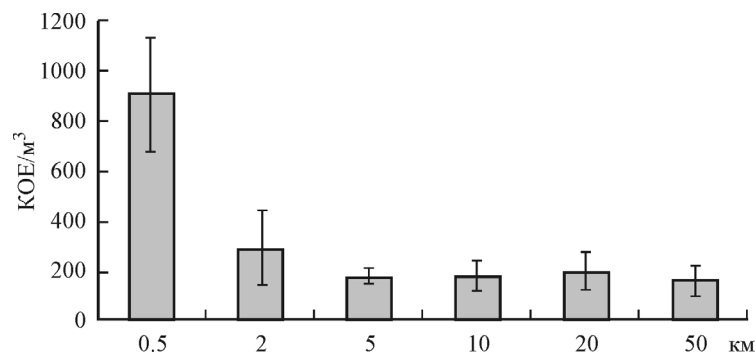


Рис. 2. Численность микроскопических грибов в воздухе по градиенту загрязнения выбросами Кандалакшского алюминиевого завода.

(0.5 км) к заводу участком (рис. 2). Над этим участком численность грибов достигала  $900 \pm 225$  КОЕ/м<sup>3</sup>, на удаленных участках —  $160 \pm 65$ — $290 \pm 150$  КОЕ/м<sup>3</sup>. Мы полагаем, что такую высокую численность грибных пропагул в воздухе вблизи завода можно объяснить неоднородностью этого участка, его пестротой и захламленностью (наличие строительного мусора).

Численность микроскопических грибов в воздухе над зонами умеренного загрязнения обоих промышленных предприятий в одинаковых экосистемах со сходным растительным покровом (сосняки кустарничковые) относительно выровнена.

Различия в численности касаются воздушного пространства в непосредственной близости к предприятиям, когда определяющим фактором является не только наличие примесей вредных соединений, содержащихся в газовоздушных выбросах, но и пестрота почвенного покрова, отсутствие напочвенной растительности, процессы эрозии почвы.

На численность микромицетов в воздухе существенное влияние могут оказывать гидротермические условия: температура и влажность воздуха, солнечная радиация, количество и частота осадков. В зоне лесотундры, где расположен комбинат «Печенганикель», и в зоне северной тайги (район расположения КАЗ) среднегодовое количество выпадающих осадков практически одинаковое и составляет 575 и 554 мм, а температура теплого периода года (май—сентябрь) равна 10.8 и 12.2 °С, соответственно.

**Видовое разнообразие микроскопических грибов.** В воздушной среде зоны воздействия комбината «Печенганикель» выделено 14 видов микроскопических грибов, относящихся к 5 родам. Таксономическая

структура выявленной микобиоты (табл. 3) представлена отделами *Zygomycota* (1 вид) и *Ascomycota* (13 видов из 4 родов, 4 семейств, 4 порядков и 2 классов — *Eurotiomycetes* и *Dothideomycetes*). Наиболее многовидовой род — *Penicillium* — представлен 9 видами (65 % родового разнообразия выявленной микобиоты), род *Aureobasidium* включал в себя 2 вида. Остальные 3 рода были представлены одним видом каждый.

Вблизи комбината (1—2 км) видовое разнообразие грибов представлено одним видом (*Gongronella butleri*) и группой грибов со стерильным мицелием (табл. 4). На участках с 3 по 10 км разнообразие грибов увеличивалось и составляло 6—7 видов. С 10 км количество выделенных видов возрастало до 8—12, достигая максимальных значений в 30—40-километровой зоне. Наиболее часто встречались в воздухе исследуемых участков такие виды, как *Aureobasidium pullulans*, *Penicillium raistrickii*, *P. multicolor*, реже — *Cladosporium cladosporioides*, *P. spinulosum*, *Penicillium trzebinskii*. Анализ значений индекса обилия видов показал, что вблизи комбината доминировал *Gongronella butleri* (95 %), на расстоянии 3—10 и 50 км — *P. raistrickii* (56—93 %), в 10, 20 и 40 км — грибы со стерильным мицелием (40—76 %), в 25 км — *Aureobasidium pullulans* (74 %), в 30 км — *P. trzebinskii* (50 %). Доминирование в воздушной среде *Gongronella butleri* вблизи алюминиевого завода (до 2 км) может быть связано с устойчивостью его спор к фтористому водороду, составляющему большую часть газообразных выбросов предприятия.

Наибольшее видовое разнообразие грибов отмечалось в воздухе на расстоянии 20—50 км от завода: 5 видов (*Aureobasidium pullulans* var. *melanogenum*, *Pe-*

Таблица 3

**Таксономическая структура микобиоты воздуха в зоне воздействия выбросов комбината «Печенганикель»**

Отдел	Класс	Порядок	Семейство	Род	Количество видов
<i>Zygomycota</i>	<i>Incertae sedis</i>	<i>Mucorales</i>	<i>Cunninghamellaceae</i>	<i>Gongronella</i>	1
<i>Ascomycota</i>	<i>Eurotiomycetes</i>	<i>Eurotiales</i>	<i>Trichocomaceae</i>	<i>Penicillium</i>	9
	<i>Dothideomycetes</i>	<i>Dothideales</i>	<i>Dothioraceae</i>	<i>Aureobasidium</i>	2
		<i>Capnodiales</i>	<i>Davidiellaceae</i>	<i>Cladosporium</i>	1
		<i>Pleosporales</i>	<i>Pleosporaceae</i>	<i>Alternaria</i>	1

Таблица 4

**Видовое разнообразие комплексов микроскопических грибов воздуха по градиенту загрязнения от комбината «Печенганикель»**

Вид	Расстояние от завода, км									
	1	2	3	5	10	20	25	30	40	50
<i>Alternaria alternata</i> (Fr.) Keissl.	—	—	—	+	+	+	—	+	—	—
<i>Aureobasidium pullulans</i> (De Bary) Arnaud var. <i>pullulans</i>	—	—	+	+	+	—	+	+	+	+
<i>A. pullulans</i> var. <i>melanogenum</i> Herm.-Nijh.	—	—	—	—	—	—	+	—	+	+
<i>Cladosporium cladosporioides</i> (Fresen.) G. A. de Vries	—	—	—	—	+	+	+	+	+	+
<i>Gongronella butleri</i> (Lendn.) Peyronel et Dal Vesco	+	—	+	—	—	+	—	—	—	—
<i>Penicillium chermesinum</i> Biourge	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—
<i>P. decumbens</i> Thom	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—
<i>P. glabrum</i> (Wehmer) Westling	—	—	—	—	—	+	—	+	—	+
<i>P. hirsutum</i> Dierckx	—	—	—	—	—	+	—	—	+	—
<i>P. multicolor</i> Grig.-Man. et Porad.	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>P. raistrickii</i> G. Sm.	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>P. spinulosum</i> Thom	—	—	—	+	+	+	+	+	+	—
<i>P. thomii</i> Maire	—	—	—	—	+	+	—	+	+	—
<i>P. trzebinskii</i> K. M. Zalessky	—	—	+	+	+	+	+	+	+	—
<i>Mycelia sterilia</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

*nicillium chermesinum*, *P. decumbens*, *P. glabrum*, *P. hirsutum*) встречались только на этих участках и не были выделены из воздуха участков, расположенных ближе к комбинату «Печенганикель». Вид *Gongronella butleri*, напротив, был выделен только вблизи комбината и в 13 км от источника выбросов.

Кластерный анализ, выполненный по видовому составу, демонстрирует распределение микроскопических грибов между двумя группами в воздушной среде в зоне воздействия комбината «Печенганикель» (рис. 3). Первая группа включает в себя участки, максимально приближенные к источнику выбросов (1—2 км), а вторая группа включает подгруппу, объединяющую участки на расстоянии 5, 10, 20, 30 км, и обособленно стоят участки на расстоянии 3, 25, 40 и 50 км. По видовому разнообразию более специфичный

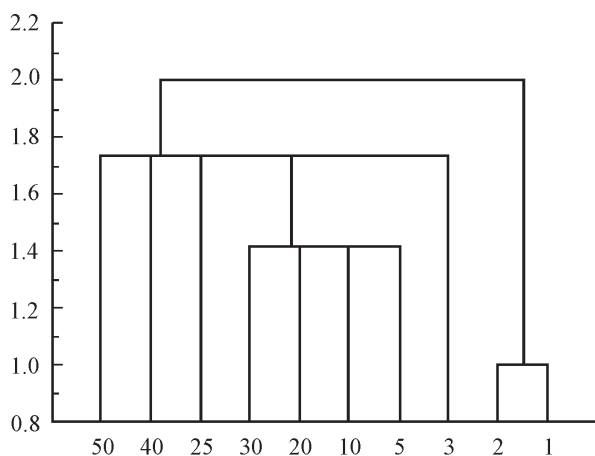


Рис. 3. Дендрограмма сходства комплексов микромицетов воздушной среды по видовому разнообразию по градиенту загрязнения выбросами комбината «Печенганикель».

По оси абсцисс — расстояние от завода, км. Евклидово расстояние, метод Варда.

комплекс формируется вблизи завода и на расстоянии 5—30 км.

В воздушной среде зоны воздействия алюминиевого завода в воздухе выделено 27 видов микроскопических грибов, относящихся к 13 родам, и группа грибов со стерильным мицелием. Таксономическая структура выявленной микобиоты представлена отделами *Zygomycota* (1 вид) и *Ascomycota* (26 видов из 12 родов, 8 семейств, 7 порядков и 4 классов — *Eurotiomycetes*, *Sordariomycetes*, *Dothideomycetes*, *Leotiomycetes*) (табл. 5). Наиболее многовидовой род *Penicillium* представлен 14 видами (52 % родового разнообразия выявленной микобиоты), роды *Cladosporium*, *Aspergillus* и *Torula* содержат по 2 вида. В остальных родах выявлено по одному виду.

Произошло снижение видового разнообразия комплексов микроскопических грибов в воздухе при загрязнении выбросами алюминиевого завода (табл. 6). Аналогичная зависимость была получена и для почвы (Evdokimova et al., 2013). Вблизи комбината видовое разнообразие грибов-аэробиионтов представлено 15 видами, на расстоянии 10 км — 19, 50 км — 20 видами.

Виды *Aspergillus repens*, *Penicillium aurantiogriseum*, *P. commune*, *P. ochrochloron*, *Talaromyces variabilis*, *Torula herbarum* встречались только в 2-километровой зоне, *Penicillium corylophilum*, *P. godlewskii*, *P. miczynskii*, *Sclerotinia sclerotiorum* — только над фоновым участком. На всех исследуемых участках выявлены 8 видов микромицетов (*Aspergillus fumigatus*, *Aureobasidium pullulans*, *Cladosporium oxysporum*, *Penicillium decumbens*, *P. raistrickii*, *P. thomii*, *Torula* sp., *Umbelopsis isabellina*) и группа грибов со стерильным мицелием.

Проведенный кластерный анализ по видовому составу грибов показывает, что комплексы микроскопических грибов разделяются на две группы (рис. 4). Грибы максимально загрязненного участка выделяют-



Таблица 5

## Таксономическая структура микобиоты воздуха в зоне воздействия Кандалакшского алюминиевого завода

Отдел	Класс	Порядок	Семейство	Род	Количество видов	
<i>Zygomycota</i> <i>Ascomycota</i>	Incertae sedis <i>Eurotiomycetes</i>	<i>Mucorales</i>	<i>Umbelopsidaceae</i>	<i>Umbelopsis</i>	1	
		<i>Eurotiales</i>	<i>Trichocomaceae</i>	<i>Aspergillus</i>	2	
	<i>Sordariomycetes</i>	<i>Microascales</i>	<i>Incertae sedis</i>	<i>Incertae sedis</i>	<i>Penicillium</i>	14
					<i>Talaromyces</i>	1
					<i>Torula</i>	2
					<i>Acremonium</i>	1
					<i>Fusarium</i>	1
	<i>Dothideomycetes</i>	<i>Hypocreales</i> <i>Pleosporales</i>	<i>Nectriaceae</i> <i>Pleosporaceae</i>	<i>Nectriaceae</i> <i>Pleosporaceae</i>	<i>Curvularia</i>	1
					<i>Alternaria</i>	1
					<i>Phoma</i>	1
					<i>Cladosporium</i>	2
	<i>Leotiomycetes</i>	<i>Capnodiales</i> <i>Dothideales</i> <i>Helotiales</i>	<i>Davidiellaceae</i> <i>Dothioraceae</i> <i>Sclerotiniaceae</i>	<i>Davidiellaceae</i> <i>Dothioraceae</i> <i>Sclerotiniaceae</i>	<i>Aureobasidium</i>	1
					<i>Sclerotinia</i>	1

Таблица 6

## Видовое разнообразие комплексов микроскопических грибов воздуха в зоне воздействия Кандалакшского алюминиевого завода

Вид	Расстояние от завода, км		
	2	10	50
<i>Acremonium rutilum</i> W. Gams	—	—	+
<i>Alternaria alternata</i> (Fr.) Keissl.	—	+	—
<i>Aspergillus fumigatus</i> Fresen.	+	+	+
<i>A. repens</i> (Corda) Sacc.	+	—	—
<i>Aureobasidium pullulans</i> (de Bary) G. Arnaud	+	+	+
<i>Cladosporium cladosporioides</i> (Fresen.) G. A. de Vries	—	+	+
<i>Cladosporium oxysporum</i> Berk. et M. A. Curtis	+	+	+
<i>Curvularia intermedia</i> Boedijn	—	+	—
<i>Fusarium oxysporum</i> Schldtl.	—	+	—
<i>Penicillium adametzii</i> K. M. Zalessky	—	+	+
<i>P. aurantiogriseum</i> Dierckx	+	—	—
<i>P. commune</i> Thom	+	—	—
<i>P. corylophilum</i> Dierckx	—	—	+
<i>P. decumbens</i> Thom	+	+	+
<i>P. godlewskii</i> K. M. Zalessky	—	—	+
<i>P. glabrum</i> (Wehmer) Westling	—	+	+
<i>P. miczynskii</i> K. M. Zalessky	—	—	+
<i>P. ochrochloron</i> Biourge	+	—	—
<i>P. raistrickii</i> G. Sm.	+	+	+
<i>P. restrictum</i> J. C. Gilman et E. V. Abbott	—	+	+
<i>P. simplicissimum</i> (Oudem.) Thom	—	+	+
<i>P. thomii</i> Maire	+	+	+
<i>P. trzebinskii</i> K. M. Zalessky	—	+	+
<i>Phoma eupyrena</i> Sacc.	—	+	—
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i> (Lib.) de Bary	—	—	+
<i>Talaromyces variabilis</i> (Sopp) Samson, N. Yilmaz, Frisvad et Seifert	+	—	—
<i>Torula herbarum</i> (Pers.) Link	+	—	—
<i>Torula</i> sp.	+	+	+
<i>Umbelopsis isabellina</i> (Oudem.) W. Gams	+	+	+
<i>Mycelia sterilia</i>	+	+	+

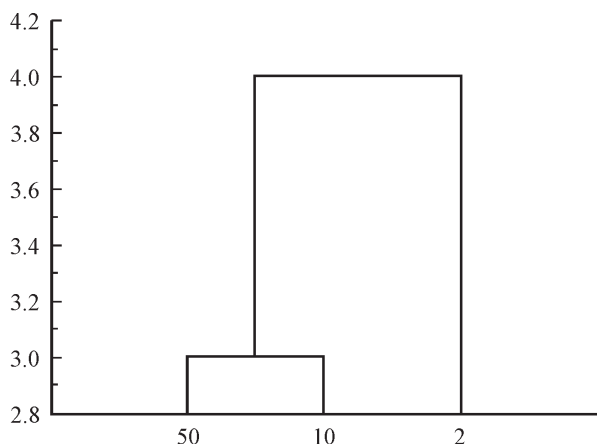


Рис. 4. Дендрограмма сходства комплексов микромицетов по видовому разнообразию в воздухе по градиенту загрязнения выбросами Кандалакшского алюминиевого завода.

По оси абсцисс — расстояние от завода, км. Евклидово расстояние, метод Варда.

ся в одну группу, а грибы умеренно-загрязненного и фонового — в другую. В воздушной среде, подверженной воздействию выбросов алюминиевого предприятия, формируется специфичный комплекс микромицетов, отличный от фонового.

По показателю индекса обилия в воздухе на участке в 2 км от источника выбросов доминировал *Cladosporium oxysporum* (95 %), в 10 км — *Penicillium raistrickii* (73 %) и *Cladosporium oxysporum* (54 %), а над фоновым участком — виды рода *Torula* (33 %) и грибы со стерильным мицелием (28 %).

Таким образом, принципиальной разницы в численности грибов в воздушной среде предприятий цветной металлургии на Кольском полуострове не выявлено. Численность микроскопических грибов в воздухе вблизи медно-никелевого комбината (до 5 км) снижается на порядок по сравнению с удаленными участками. В воздушной среде, подверженной воздействию выбросов медно-никелевого и алюминиевого промышленных предприятий, формируются специфичные комплексы микромицетов, отличные от фоновых. Среди грибов-аэробиев по показателю индекса обилия вблизи медно-никелевого комбината доминировал *Gongronella butleri*, вблизи алюминиевого завода — *Cladosporium oxysporum*. Видовое разнообразие комплексов микромицетов-аэробиев в зоне воздействия газоздушных выбросов медно-никелевого комбината представлено 14 видами, в районе алюминиевого завода — 27. Наибольшее количество видов в зоне воздействия выбросов обоих комбинатов принадлежит роду *Penicillium*.

Исследования М. В. Корнейковой, Г. А. Евдокимовой, А. А. Чапориной проведены при финансовой поддержке РФФИ (грант № 12-04-00547-а) и программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития». Исследования Е. В. Лебедевой выполнены в рамках государственного задания согласно тематическому плану БИНа по теме «Биоразнообразие и

пространственная структура сообществ грибов и микромицетов в природных и антропогенных экосистемах» — 01201255604.

#### REFERENCES

- Bogomolova E. V., Vasilyeva N. V., Gorshkova G. I. Mycobiota of some dwellings in the city of St. Petersburg and Leningrad region // *Problemy meditsinskoy mikologii*. 1999. Vol. 3. P. 41—43 (in Russ.).
- Bogomolova E. V., Velikova T. D., Goryaeva A. G., Ivanova A. M., Kirtsideli I. Yu., Lebedeva E. V., Mamaeva N. Yu., Panina L. K., Popikhina E. A., Smolyanitskaya O. L., Trepova E. S. Microfungi in the air of Saint Petersburg / Ed. M. A. Bondartseva. SPb.: Khimizdat, 2012. 215 p. (in Russ.).
- Crous P. W., Verkley G. J. M., Groenewald J. Z., Samson R. A. Fungal biodiversity. Utrecht: CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre, 2009. 269 p.
- Domsh K. H., Gams W., Anderson T. H. Compendium of soil fungi. 2nd ed. Ehing: IHW Verlag, 2007. 672 p.
- Egorova L. N., Klimova Yu. A. Saprotrophic fungi in the air of various facilities in Vladivostok // *Problemy meditsinskoy mikologii*. 2005. Vol. 5. P. 64—67 (in Russ.).
- Evdokimova G. A., Korneykova M. V., Lebedeva E. V. Micromycetes communities in soils of the area affected by aluminium plant // *Mikologiya i fitopatologiya*. 2007. Vol. 41, N 1. P. 20—28 (in Russ.).
- Evdokimova G. A., Korneykova M. V., Mozgova N. P., Redkina V. V. Microorganisms of air environmental pollution on gradient from the plant «Pechenganikel» to nature reserve «Pasvik» // *Vestnik Kolskogo nauchnogo tsentra*. 2012. N 3. P. 22—25 (in Russ.).
- Evdokimova G. A., Korneykova M. V., Lebedeva E. V. Complexes of potentially pathogenic microscopic fungi in anthropogenic polluted soils // *J. Environm. Sci. Health. Pt A*. 2013. N 48. P. 746—752.
- Evdokimova G. A., Mozgova N. P., Saldaev S. A. Comparative assessment of atmospheric deposition in the area of aero-technogenic emissions by Kandalakshsky aluminum plant // *Inzhenernaya ekologiya*. 2013. N 1. P. 46—53 (in Russ.).
- Guarro J., Gene J., Stchigel A. M., Figueras J. Atlas of soil Ascomycetes. Utrecht: CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre, 2012. P. 486.
- Index Fungorum. CABI Database (<http://www.indexfungorum.org>; accessed 10 10 2014).
- Ivanova A. M., Kirtsideli I. Yu. Micromycetes in the air of St. Petersburg // *Novosti sistematiki nizshikh rasteniy*. 1995. Vol. 39. P. 124—128 (in Russ.).
- Khan Z. U., Khan M. A. Y., Chandry R., Sharma P. N. Aspergillus and other moulds in the air of Kuwait // *Mycopathologia*. 1994. Vol. 146, N 1. P. 25—32.
- Kireeva N. A., Miftakhova A. M., Bakaeva M. D., Vodopyanov V. V. Complexes of soil microscopic fungi under technogenic conditions. Ufa: Gilem, 2005. 360 p. (in Russ.).
- Klich M. A. Identification of common Aspergillus species. Baarn: Centraalbureau voor Schimmelcultures, 2002. 116 p.
- Koch A., Heilemann K.-Y., Bischof W., Heinrich Y., Wickmann H. E. Indoor viable mold spores — a comparison between two cities, Erfurt (Eastern Germany) and Hamburg (Western Germany) // *Allergy*. 2000. Vol. 55. P. 176—195.
- Korneykova M. V. The complexes of microscopic fungi in the area affected by «Pechenganikel» plant emissions // *Problemy mikologii i fitopatologii v XXI veke / Materialy mezhdunarodnogo simpoziuma «Problemy mikologii i fitopatologii v XXI veke»*. 2011. P. 10—12 (in Russ.).

narodnoy nauchnoy konferentsii. SPb., 2013. P. 158—161 (in Russ.).

Li D. W., Kendrick B. A year-round comparison of fungal spores in indoor and outdoor air // *Mycologia*. 1995. Vol. 87, N 2. P. 190—195.

Marfenina O. E. Antropogenic ecology of soil fungi. Moskva: Meditsina dlya vseh, 2005. 196 p. (in Russ.).

Marfenina O. E., Karavayko N. M., Ivanova A. E. Features of microscopic fungi complexes of urbanized areas // *Mikrobiologiya*. 1996. Vol. 65, N 1. P. 119—124 (in Russ.).

Monitoring of natural environments in the impact zone of Kolskaya GMK and re-cultivation of disturbed lands. Norilsk, 2010 (<http://eco.rusvegia.com/doc/kgmk2010.pdf>; accessed 18 10 2014) (in Russ.).

Petrova-Nikitina A. D., Mokeeva V. L., Zheltikova T. M., Chekunova L. M., Antropova A. B., Mokronosova M. A., Bilanenko E. N., Sizova T. P. Mycobiota of house dust in Moscow // *Mikologiya i fitopatologiya*. 2000. Vol. 34, N 3. P. 25—33 (in Russ.).

Raper B., Thom C. A manual of the Penicillia. N. Y.; London: Hafner Publishing Co., 1968. 875 p.

Samson R. A., Houbraken J., Thrane U., Frisvad J. C., Andersen B. Food and indoor fungi. Utrecht: CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre, 2010. P. 390.

Seifert K., Morgan-Jones G., Gams W., Kendrick B. The genera of Hyphomycetes. Utrecht: CBS, 2011. 997 p.

Takahashi T. Airborne fungal colony-forming-units in outdoor and indoor environments in Yokohama, Japan // *Mycopathology*. 1997. Vol. 139, N 1. P. 23—33.

Zachinyaeva A. V., Lebedeva E. V. Micromycetes of contaminated soils of the North-West region of Russia and their role in the pathogenesis of allergic forms of mycosis // *Mikologiya i fitopatologiya*. 2003. Vol. 37, N 5. P. 69—74 (in Russ.).

Zhdanova N. N., Subbota A. G., Kondratyuk T. A., Zakharchenko V. A., Kharkevich E. S., Nakonechnaya L. T. Microscopic fungi in various premises in Kiev // *Problemy meditsinskoy mikologii*. 2006. Vol. 7. P. 44 (in Russ.).

Поступила 10 VII 2014