

УДК 631.466.1 : 631.411.1

© Г. А. Евдокимова,¹ М. В. Корнейкова,¹ Е. В. Лебедева,² В. В. Калмыкова¹

МИКРОМИЦЕТЫ В ПЕСКАХ И ПЕСЧАНЫХ ПОЧВАХ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО ГЕНЕЗИСА

EVDOKIMOVA G. A., KORNEYKOVA M. V., LEBEDEVA E. V., KALMYKOVA V. V.
MICROMYCETES IN SANDS OF THE NATURAL AND INDUSTRIAL GENESIS

В результате деятельности крупных горнодобывающих и перерабатывающих предприятий образуется большое количество отходов переработки полезных ископаемых — хвостов обогатительных фабрик, складываемых в хвостохранилищах, общая площадь которых в Мурманской обл. в настоящее время составляет около 5 тыс. га. Действующие и отработанные хвостохранилища, с одной стороны, представляют собой источник ценных химических элементов, с другой — источник значительного загрязнения окружающих территорий, в том числе и населенных пунктов.

Отходы апатитонепелиновой промышленности, состоящие в основном из нефелина (до 60 %), характеризуются как «нефелиновые пески». Этот термин прочно закрепился в литературе (Медведев, 1964; Переверзев и др., 2007).

С 1964 по 1975 г. проводилась работа по закреплению отработанного хвостохранилища ОАО «Апатит» под г. Кировском. К настоящему времени на этом хвостохранилище сформировалась экосистема, представляющая собой модель техногенного образования, которая претерпела длительную эволюцию от бесплодных, заселенных только микроорганизмами песков до сложных биогеоценозов, включающих новообразованную почву с растительным покровом разной структуры (Похилько и др., 2005; Переверзев и др., 2007). Современный растительный покров представлен березняками лишайниково-разнотравными и березняками лишайниково-травянисто-моховыми. На открытых местах располагаются участки луговых растений.

Примером песков природного происхождения, образовавшихся в результате ветровой эрозии и хозяйственной деятельности человека (вырубка леса, выпас скота), является приморская песчаная равнина в районе с. Кузомень (Терский берег Белого моря), где на площади около 1000 га полностью разрушены растительный и почвенный покровы (Медведев, 1964; Казаков, 2000). Открытые песчаные пространства подвержены ветровой эрозии, значительному переносу песка, образованию типичного для пустынных территорий ландшафта, характеризующегося как «кузоменские пески».

Целью данной работы было изучение комплексов микроскопических грибов, как объектов, играющих существенную роль в почвообразовательных процессах, в песках техногенного и природного генезиса в условиях Крайнего Севера.

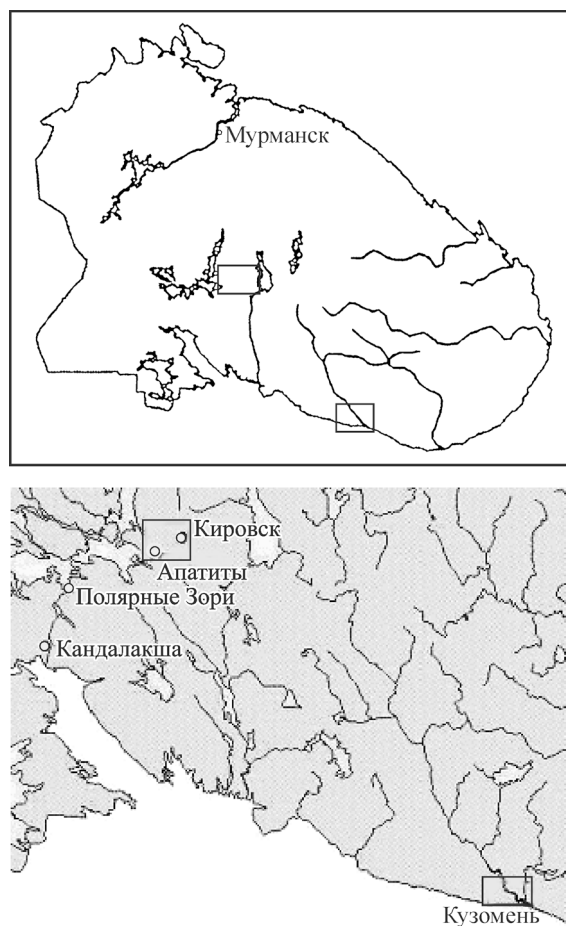
¹ Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН, Апатиты.

² Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург.

Материал и методы

Исследования проводили в Мурманской обл. на двух хвостохранилищах обогатительных фабрик ОАО «Апатит» (см. рисунок). Одно из них, действующее, расположено в 3 км от г. Апатиты (общая площадь более 1.5 тыс. га), другое, законсервированное, площадью 120 га, рекультивировано в 1964—1975 гг. и расположено в 15 км в северном направлении от г. Апатиты и в 3 км от г. Кировска (Кадастр отходов..., 1998). Исследования также проводили на природных кузоменских песках под 20-летними посадками сосен и в чистых песках без растительности у р. Варзуга.

Пылящие поверхности хвостохранилищ обогатительных фабрик и приморских песков как объекты экологических исследований имеют черты сходства и различия (табл. 1). Оба объекта представляют собой массивы, сложенные минеральными материалами, в гранулометрическом составе которых преобладают грубопесчаные частицы при сравнительно небольшом содержании высокодисперсных фракций (Переверзев и др., 2007). В то же время генетически это совершенно разные материалы. Кузоменские пески являются природным материалом, минералогический и химический состав которого аналогичен составу зональных почв. Это полимиктовые пески, в состав которых входит не только кварц, но и некоторые темноцветные минералы, устойчивые к воздействию выветривания. Отходы обогатительного производства являются



Расположение объектов исследования.

**Сравнительная характеристика нефелиновых и кузоменских песков
(по: Медведев, 1964; Переверзев и др., 2007)**

Показатель	Нефелиновые пески	Кузоменские пески
Происхождение	Продукт переработки полезных ископаемых	Природный материал
Гранулометрический состав, %	Песок (29), пыль (69), ил (2)	Песок (98.5), пыль (1.2)
Минералогический состав	Нефелин (57.2 %) и сопутствующие ему минералы: апатит, эгирин, авгит, сфен и др.	Светлые минералы: кварц, полевые шпаты. Цветные минералы: амфиболиты и пироксены
Влажность в период наблюдений, %	0.7—16.7	0.1—8.8
pH _{водн.}	7.3—8.1	6.1—6.3
Органический углерод, %	0.18—0.34	Не обнаружен
Валовой химический состав, % на прокаленную навеску:		
SiO ₂	41.5	78.9
CaO	4.3	1.0
MgO	0.8	0.8
P ₂ O ₅	2.2	0.1
K ₂ O	6.5	2.0

продуктом переработки полезных ископаемых и имеют, как правило, более однородный в минералогическом отношении состав. Так, основой отходов производства апатитового концентрата является нефелин с примесью других минералов. Естественно предположить, что условия для развития биоты в столь отличающихся по физическим свойствам и химическому составу песках будут различными.

Отбор образцов нефелиновых песков для микологического анализа проводили ежемесячно с мая по октябрь в 2005—2007 гг. из слоя 0—5 см. Брали свеженамытый песок на действующем хвостохранилище и образцы новообразованных почв на рекультивированном хвостохранилище под различными растительными группировками, с преобладанием лишайников (роды *Alectoria*, *Cladonia*, *Cetraria*, *Nephroma*, *Peltigera*, *Stereocaulon*), разнотравья с доминированием клевера (роды *Alopecurus*, *Bromus*, *Festuca*, *Leymus*, *Phleum*, *Poa*, *Hedysarum*, *Oxytropis*, *Trifolium*), кустарничков (*Empetrum hermaphroditum* Hager., *Vaccinium vitis-idaea* L.). Для микологического анализа кузоменских песков брали образцы чистых песков у р. Варзуга из слоя 0—5 см и под посадками сосен со слабым наземным лишайниковым покровом (род *Cladonia*) из сформировавшегося под ними слабого горизонта A₀ (0—0.5 см) и далее по-слойно: 0.5—10, 10—20 и 20—30 см. Всего выполнен микологический анализ 180 образцов.

Анализировали свежие образцы на следующий день после их отбора. Численность микромицетов определяли методом посева на сусло-агар с добавлением молочной кислоты из расчета 4 мл на 1 л среды для ингибирования роста бактерий. Из всех выросших колоний грибов были выделены чистые культуры и проведена их идентификация до вида по определителям (Raper, Thom, 1949; Raper, Fennell, 1965; Rifai, 1969; Domsh, Gams, 1980; Егорова, 1986; Ellis, 1989). Видовые названия грибов уточняли по пополняемым спискам в базе данных «Species fungorum» (www.indexfungorum.org).

Длину мицелия грибов с дальнейшим расчетом биомассы определяли методом флуоресцентного микроскопирования с использованием темноокрашенных поликарбонатных мембранных фильтров Суслорге, диаметр пор которых 0.8 мкм, и красителя флуоресцин-5-изотиоцианата (FITC; Евдокимова и др., 2002). Для определения длины грибного мицелия 1 г почвы растирали в ступке пестиком с постепенным добавлением 9 мл воды. Точность измерений возрастала при разумном увеличении сте-

пени фрагментации гиф (Hanssen et al., 1974; Мирчинк, 1988). Для определения численности и биомассы грибов использовали метод и материалы (мембранные фильтры, стандартную сетку для микроскопирования, коэффициент для расчета биомассы, флуоресцентные красители), применяемые в микробиологических лабораториях стран Скандинавии (Olsen, Hovland, 1985), как наиболее адаптированные для учета мицелия грибов в почвах высоких широт. Длину мицелия учитывали в 30 полях зрения с использованием иммерсионного объектива 63×. Подсчитывали количество точек пересечения мицелия со стандартной сеткой. Длину мицелия рассчитывали по формуле

$$L = N \times 0.0842 / V \times A,$$

где L — длина мицелия в метрах; N — количество точек соприкосновения с сеткой; V — объем суспензии, нанесенной на фильтр, мл; A — разведение суспензии; 0.0842 — расчетный коэффициент для данного микроскопа. Грибную биомассу рассчитывали, принимая вес одного метра мицелия равным $1.1 \cdot 10^{-6}$ г.

Для оценки степени сходства комплексов грибов двух типов изучаемых песков использовали коэффициент Сёренсена (Bissett, Parkinson, 1979).

Результаты и обсуждение

В свеженамытых песках апатитонефелинового производства и природных нерекультивированных кузоменских песках численность микромицетов была очень мала и не превышала десятков колониеобразующих единиц (КОЕ) в 1 г (табл. 2). Численность микроскопических грибов на рекультивированных территориях под растительным покровом возрастала. В новообразованных почвах на рекультивированных более 40 лет назад нефелиновых песках количество микроскопических грибов достигало со-

Таблица 2

Численность, длина мицелия и биомасса микроскопических грибов в нефелиновых и кузоменских песках

Объект	Парцелла	Численность, тыс. КОЕ/г	Длина грибного мицелия, м/г	Биомасса, мг/г
Законсервированное хвостохранилище ОАО «Апатит»	Моховая	49.5 ± 11.2	—	—
	Лишайниковая	218.9 ± 30.3	—	—
	Разнотравная	117.2 ± 30.4	—	—
	Кустарничковая	152.0 ± 81.1	279.7 ± 66.9	0.308 ± 0.074
Чистый песок (глубина, см)				
Действующее хвостохранилище ОАО «Апатит»	0—5	0.02 ± 0.01	5.0 ± 0.5	0.006 ± 0
Чистый песок у р. Варзуга (глубина, см)				
Кузоменские пески	0—10	0.05 ± 0.02	10.0 ± 1.0	0.011 ± 0.001
Посадки сосен (глубина, см)				
	A ₀	4.18 ± 1.35	494.0 ± 62.0	0.543 ± 0.068
	0.5—10	1.69 ± 0.28	122.0 ± 8.0	0.134 ± 0.009
	10—20	0.16 ± 0.04	78.0 ± 7.0	0.086 ± 0.008
	20—30	0.06 ± 0.02	38.0 ± 7.0	0.041 ± 0.008

Примечание. Прочерк — определение не проводили.

**Видовой состав и частота встречаемости грибов, выделенных из нефелиновых
и кузоменных песков за период 2005—2007 гг.**

Виды	Кузоменные пески	Законсервиро- ванное хвостохранилище ОАО «Апатит»	Действующее хвостохранилище ОАО «Апатит»
Отдел <i>Zygomycota</i> Класс <i>Zygomycetes</i> Порядок <i>Mucorales</i>			
<i>Mortierella longicollis</i> Dixon-Stew.	25/50	21/67	—
<i>Mucor</i> sp.	13/50	4/17	—
<i>M. hiemalis</i> Wehmer	—	—	17/17
<i>M. plumbeus</i> Bonord.	—	—	17/17
<i>Umbelopsis isabellina</i> (Oudem.) W. Gams	—	14/33	—
Митоспоровые грибы Класс <i>Hyphomycetes</i> Порядок <i>Hyphomycetales</i>			
<i>Acremonium rutilum</i> W. Gams	—	—	+
<i>Aspergillus fumigatus</i> Fresen.	13/50	—	—
<i>Aureobasidium pullulans</i> var. <i>pullulans</i> (de Bary) G. Arnaud	—	+	+
<i>Gliocladium roseum</i> var. <i>roseum</i> Bainier	—	+	17/17
<i>Penicillium aculeatum</i> Raper et Fennell	25/50	7/33	—
<i>P. adametzii</i> K. M. Zalessky	13/50	—	—
<i>P. camemberti</i> Thom	—	7/17	—
<i>P. caseicolum</i> Bainier	—	4/17	—
<i>P. corylophilum</i> Dierckx	—	4/17	—
<i>P. citrinum</i> Thom	—	4/17	—
<i>P. daleae</i> K. M. Zalessky	—	39/67	—
<i>P. glabrum</i> (Wehmer) Westling	—	—	7/17
<i>P. godlewskii</i> K. M. Zalessky	13/50	4/17	—
<i>P. janthinellum</i> Biourge	38/50	—	—
<i>P. jensenii</i> K. M. Zalessky	25/50	—	—
<i>P. miczynskii</i> K. M. Zalessky	25/50	7/17	—
<i>P. raistrickii</i> G. Sm.	13/50	4/17	—
<i>P. restrictum</i> J. C. Gilman et E. V. Abbott	—	11/17	—
<i>P. rubrum</i> Grassberger	—	4/17	—
<i>P. spinulosum</i> Thom	13/50	—	—
<i>P. solitum</i> var. <i>crustosum</i> (Thom) Bridge, D. Hawksw., Kozak., Onions, R. R. M. Paterson et Sackin	—	4/17	—
<i>P. thomii</i> Maire	—	4/17	50/50
<i>P. variabile</i> Sopp	—	—	17/17
<i>P. velutinum</i> J. F. H. Beyma	—	4/17	—
<i>Trichoderma hamatum</i> (Bonord.) Bainier	—	4/17	—
<i>T. koningii</i> Oudem.	—	11/33	—
<i>T. polysporum</i> (Link) Rifai	—	4/17	—
<i>T. viride</i> Pers.	75/100	96/100	17/17
Порядок <i>Agonomycetales</i>			
<i>Mycelia sterilia</i> white	+	+	+

Таблица 3 (продолжение)

Виды	Кузоменские пески	Законсервиро- ванное хвостох- ранилище ОАО «Апатит»	Действующее хвостохранилище ОАО «Апатит»
Порядок <i>Tuberculariales</i>			
<i>Fusarium solani</i> (Mart.) Sacc.	—	—	+
<i>F. merismoides</i> Corda	—	+	—
Класс <i>Coelomycetes</i>			
Порядок <i>Sphaeropsidales</i>			
<i>Phoma eupyrena</i> Sacc.	—	21/67	—
Отдел <i>Ascomycota</i>			
Класс <i>Sordariomycetes</i>			
Порядок <i>Microascales</i>			
<i>Kernia nitida</i> (Sacc.) Nieuwl.	—	4/17	—

Примечание. Через косую линию указаны пространственная и временная частота встречаемости видов соответственно. Прочерк — вид не определяли, знак плюс — виды выявлены одноразово.

тен тысяч КОЕ/г. В кузоменских песках под 20-летними посадками сосен с лишайниковым наземным покровом численность грибов составляла несколько тысяч КОЕ/г. Вниз по профилю их количество постепенно снижалось, но при этом оставалось на порядок выше, чем в песках без растительности.

В «чистом» песке сезонная динамика численности грибов не проявлялась, что в первую очередь связано с отсутствием растительности и выпадением в годы наблюдений достаточного количества осадков, в том числе и в летнее время. В рекультивированных песках под растительностью численность грибов возрастала в осенний период, что обусловлено поступлением в почву дополнительного органического вещества в виде отмерших частей растений.

Более полное представление о численности грибов в почвах дают прямые методы их учета, в частности метод флуоресцентной микроскопии. Длина грибного мицелия в нефелиновых песках, подвергшихся рекультивации 40 лет назад, достигала 280 м, а его биомасса составляла 0.31 мг в 1 г субстрата, тогда как в свеженамытых песках эти показатели были значительно ниже и составляли 5 м и 0.006 мг/г соответственно.

В органогенном горизонте кузоменских песков под сосновыми насаждениями отмечен существенный рост грибной биомассы по сравнению с их некультивированным аналогом. Длина грибного мицелия и биомасса увеличились почти в 50 раз и составили 494 м и 0.50 мг/г соответственно, тогда как в песках без растительности — 10 м и 0.011 мг/г.

Длина грибного мицелия и его биомасса в рекультивированных природных песках была значительной, а численность грибов, выделяемых на питательных средах, очень низкой. Это свидетельствует о том, что суммарная грибная биомасса не является только биомассой микромицетов, а дополняется, вероятно, биомассой базидиальных грибов.

Следует отметить, что в песках без растительности наличие бактерий и грибов в общей микробной биомассе равноценно, а в песках, подвергнутых фитомелиорации, грибная биомасса превышает бактериальную на 1—2 порядка (Калмыкова, 2008).

Известно, что видовой состав биоты почв высоких широт не отличается разнообразием (Чернов, 1980; Евдокимова, Мозгова, 2001; Марфенина, 2005; Беспалова и др., 2006).

К настоящему времени нами выявлено в песках природного происхождения 13 видов микромицетов, относящихся к 6 родам, 3 порядкам, 2 классам и 2 отделам; в песках хвостохранилища, рекультивированного более 40 лет назад, — 27 видов, относящихся к 11 родам, 6 порядкам, 4 классам и 3 отделам; в свеженамытых песках — всего 11 видов, относящихся к 8 родам, 4 порядкам, 2 классам и 2 отделам (табл. 3).

Наиболее широко в комплексе микромицетов рекультивированного нефелинового хвостохранилища были представлены грибы рода *Penicillium*. Они составляли более 50 % всего видового разнообразия выделенных грибов. В свеженамытых песках данный род был представлен 4 видами, в рекультивированных — 15 видами. В песках природного происхождения также доминировали по разнообразию грибы рода *Penicillium*, представленного 8 видами.

Выявлены сходство и различие видовой структуры комплексов микромицетов песков природного (кузоменские пески) и антропогенного (нефелиновые пески) происхождения. Вид *Trichoderma viride* доминировал в рекультивированных песках как природного (пространственная и временная частота встречаемости вида 75 и 100 %), так и антропогенного происхождения (96 и 100 % соответственно), но являлся случайным в незакрепленных песках обоих типов (пространственная и временная частота встречаемости <30 %). В нефелиновых песках, подверженных рекультивации 40 лет назад, в группу часто встречающихся видов входили *Mortierella longicollis*, *Phoma eupyrena*, *Penicillium daleae*, а в кузоменских песках — *Penicillium janthinellum*. В свеженамытых песках доминирующие виды отсутствовали, о чем также свидетельствуют снижение величины индекса доминирования Симпсона и соответственно увеличение значения индекса выравненности Пиелоу. В рекультивированных песках индекс Симпсона был равен 0.26, Пиелоу — 0.53; в свеженамытых песках 0.15 и 0.96 соответственно. Гриб *Penicillium thomii* относился к часто встречающимся видам в свеженамытых песках, остальные виды, приведенные в табл. 3, отнесены по значениям пространственной и временной частоты встречаемости видов к редким и случайным (17 %).

Грибы *Acremonium rutilum*, *Fusarium solani*, *Mucor hiemalis*, *M. plumbeus*, *Penicillium variabile* были выделены только в свеженамытых нефелиновых песках. Эти виды были выявлены также в апатитонефелиновых подземных горных выработках (Евдокимова, Науменко, 2000) и в продуктах технологической переработки на апатитонефелиновых обогатительных фабриках (Гершенкоп и др., 2005), откуда они могли поступить в хвостохранилища.

Степень сходства видового состава комплексов микроскопических грибов свеженамытых и рекультивированных нефелиновых песков, выраженная коэффициентом Сёрнсена, составила всего 25 %. Такая низкая степень сходства объясняется чрезвычайно малой величиной численности и бедным видовым разнообразием грибов в отходах обогащения, выходящих с фабрики. Для рекультивированных нефелиновых и кузоменских песков значение коэффициента Сёрнсена было выше — 40 %.

Сходство видового состава комплексов микромицетов рекультивированных нефелиновых песков и типичных подзолистых почв Кольского полуострова возрастало — коэффициент Сёрнсена достигал 45 %.

На основании этих данных можно сделать вывод, что в исследуемых субстратах при формировании пионерных комплексов микромицетов наиболее существен процесс воссоздания растительных ассоциаций, определяющих их численность и разнообразие, и не столь значимы различия в минералогическом и химическом составе песков, являющихся материнской породой.

В настоящее время созданы предпосылки для формирования комплексов микромицетов, типичных для региональных подзолистых почв. Разрастающийся растительный покров, возрастание численности и активизация средорегулирующей деятельности грибов приводят к интенсификации процессов минерализации и трансформации растительных остатков, создают предпосылки для образования гумуса и молодых почв на закрепленном хвостохранилище.

Таким образом, численность микроскопических грибов в не подверженных рекультивации песках природного (кузоменские пески) и техногенного (нефелиновые пески) происхождения — низкая и не превышает десятков колониеобразующих единиц в 1 г субстрата, а длина мицелия — 10 м. В рекультивированных песках как природного, так и техногенного генезиса численность грибных колониеобразующих единиц возрастает в тысячи раз, а длина мицелия — до 50 раз, достигая 280 м/г в нефели-

новых песках и 490 м/г в природных песках морского генезиса. Отмечены низкое видовое разнообразие микромицетов в свеженамытых песках апатитнефелинового производства и отсутствие видов — доминантов в структуре их комплексов. Рекультивация нефелиновых песков, выполненная 40 лет назад, создала предпосылки для формирования комплексов микромицетов, типичных для региональных подзолистых почв. В исследуемых субстратах в формировании пионерных комплексов микромицетов наиболее существен процесс воссоздания растительного покрова, определяющего их численность и разнообразие, и не столь значимы были различия в минералогическом и химическом составе песков, являющихся материнской породой.

Исследования проведены при финансовой поддержке программы фундаментальных исследований президиума РАН «Биоразнообразии и динамика генофондов».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Беспалова А. Ю., Марфенина О. Е., Мотузова Г. В. Сообщества микроскопических грибов в фоновых и загрязненных альфегумусовых подзолах и их воздействие на подвижность меди // Почвоведение. 2006. № 2. С. 228—236.

Гершенкоп А. Ш., Евдокимова Г. А., Воронина Н. В., Креймер Л. Л. Биоэкология: влияние бактериального компонента оборотных вод на флотацию несulfидных руд (на примере работы обогатительных фабрик ОАО «Апатит») // Инженерная экология. 2005. № 3. С. 51—61.

Евдокимова Г. А., Зенкова И. В., Переверзев В. Н. Биодинамика процессов трансформации органического вещества в почвах Северной Фенноскандии. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2002. 154 с.

Евдокимова Г. А., Мозгова Н. П. Микроорганизмы тундровых и лесных подзолов Кольского Севера. Апатиты: КНЦ РАН, 2001. 184 с.

Евдокимова Г. А., Науменко А. Ф. Микроорганизмы подземных горных выработок Северной Фенноскандии // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. 2002. № 3. С. 237—242.

Егорова Л. Н. Почвенные грибы Дальнего Востока. Л.: Наука, 1986. 192 с.

Кадастр отходов горно-металлургического производства Мурманской области (по состоянию на 01.01.98 г.) / Сост. А. А. Козырев и др. Мурманск; Апатиты, 1998. 96 с.

Казачков Л. А. Кузоменские пески. Мурманск: Изд-во Госкомитета по охране окружающей среды Мурманской обл., 2000. 112 с.

Калмыкова В. В. Биологическая активность кузоменских песков Мурманской области // Глубокая переработка минеральных ресурсов. Апатиты: КНЦ РАН, 2008. С. 172—175.

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

Медведев П. М. Кузоменские подвижные пески и мероприятия по их закреплению // Изв. ВГО. 1964. № 1. С. 30—38.

Мирчинк Т. Г. Почвенная микология. М.: МГУ, 1988. 220 с.

Переверзев В. Н., Ивлиев А. И., Горбунов А. В., Ляпунов С. М. Первичное почвообразование на отвалах обогащения апатитнефелиновых руд Кольского полуострова // Почвоведение. 2007. № 8. С. 1006—1013.

Похилько А. А., Евдокимова Г. А., Калмыкова В. В. Формирование биогеоценозов на закрепленных промышленных отвалах в условиях северной тайги // Экологические функции лесных почв в естественных и антропогенно нарушенных ландшафтах. Петрозаводск: КНЦ РАН, 2005. С. 282—283.

Чернов Ю. И. Жизнь тундры. М.: Мысль, 1980. 235 с.

Bissett J., Parkinson D. Fungal community structure in some alpine soils // Can. J. Bot. 1979. Vol. 57. P. 1630—1641.

Domsh K. H., Gams W., Anderson T. H. Compendium of soil fungi. London et al.: Acad. Press, 1980. Vol. 1. 859 p.

Ellis M. B. More Dematiaceus hyphomycetes. CAB Inter. Mycological Institute. Kew, Surrey, England, 1989. 507 p.

Hanssen J. F., Thingstad T. F., Coksoyr J. Evaluation of hyphal lengths and fungal biomass in soil by a membrane filter technique. Copenhagen, 1974. Vol. 25. N 1. P. 102—107.

Olsen R. A., Hovland J. Fungal flora and activity in Norway spruce needle litter // Report. Department of Microbiology. Agricultural University of Norway, 1985. 41 p.

Raper B., Fennell D. I. The genus *Aspergillus*. Baltimore: Williams and Wilkins Co., 1965. 686 p.

Raper B., Thom C. A. Manual of the *Penicillia*. New York; London: Hafner Publishing Co., 1949. 875 p.

Rifai A. Revision of the genus *Trichoderma* // *Mycological Papers*. 1969. N 116. P. 1—56.

Институт проблем промышленной
экологии Севера КНЦ РАН

Поступила 9 VI 2008

Апатиты

Ботанический институт
им. В. Л. Комарова РАН
Санкт-Петербург
galina@inep.ksc.ru

РЕЗЮМЕ

Исследованы численность, биомасса, разнообразие и структура комплексов микроскопических грибов в исходных и рекультивированных песках природного (кузоменские пески) и техногенного (нефелиновые пески) генезиса. В рекультивированных нефелинсодержащих песках возрастает длина грибного мицелия с 5 до 280 м/г, а в природных песках — с 10 до 490 м/г. Отмечены низкое видовое разнообразие микромицетов в исходных песках апатитонепфелинового производства и отсутствие видов — доминантов в структуре их комплексов. Рекультивация нефелиновых песков, выполненная 40 лет назад, создала предпосылки для формирования комплексов микромицетов, типичных для региональных подзолистых почв на моренных отложениях. В формировании пионерных комплексов грибов в исследуемых песках наиболее существен процесс воссоздания растительного покрова, определяющего их численность и разнообразие, и не столь значимы различия минералогического и химического состава материнских пород.

Ключевые слова: почвенные грибы, нефелинсодержащие пески, природные морские пески, новообразованные почвы.

SUMMARY

Number, biomass, biodiversity and structure of fungi complexes were investigated in the initial and recultivated sands of natural (kuzomensky sands) and industrial (nepheline sands) genesis. Mycelium length increases from 5 to 280 m/g in the recultivated nepheline sands, and from 10 to 490 m/g — in the natural sands. Low biodiversity of fungi in the initial sands of the apatite-nepheline industry and absence of species-dominants in their complex were pointed out. Nepheline sands recultivation (carried out 40 years ago) gave preconditions for the formation of fungi complexes, typical for regional podzol soils on the moraine sediments. A process of vegetation cover reconstruction is more essential in the pioneer complex of fungi formation. The vegetation cover determines their number, biodiversity and differences between mineralogical and chemical composition of the parent material are not so important.

Key words: soil fungi, nepheline-containing sands, natural sea-sands, neogenic soils.