

УДК 631.466.1:574.4:504.064.36(211.7)

Трансформация растительности, почв и почвенной микробиоты в зоне воздействия породных отвалов угольной шахты «Воркутинская»

© 2015. Ф. М. Хабибуллина, д.б.н., с.н.с.,
 Е. Г. Кузнецова, к.б.н., с.н.с., А. Н. Панюков, к.б.н., н.с.,
 Институт биологии Коми научного центра УрО РАН,
 e-mail: fluza@ib.komisc.ru

Исследованы растительность, почвы и почвенная микробиота в районе воздействия породного отвала, сформированного в результате угледобычи в Воркутинском промышленном районе (Республика Коми). Выделены три зоны по влиянию техногенного объекта на состояние основных компонентов тундровых экосистем (импактная, буферная и фон). В импактной зоне отмечено зарастание участка, прилегающего к отвалу, травянистыми растениями, их доля в проективном покрытии составила около 40%. Почвы характеризуются повышенным содержанием бария и стронция по сравнению с фоном, что свидетельствует о загрязнении территории вблизи отвала угольной пылью, содержащей эти элементы. В составе почвенной микробиоты присутствуют виды, характерные для антропогенно нарушенных местообитаний, – чёрные стерильные колонии *Mycelia sterilia*, *Cladosporium cladosporioides*, *Aureobasidium pullulans*, *Paecilomyces carneus*, *P. inflatus*, *Mucor* sp., а также дрожжевые грибы рода *Candida*. Почвы и растительность буферной зоны испытывают меньшее воздействие породного отвала. В составе почвенной биоты преобладают виды, характерные для фоновых почв, вместе с тем высока доля и эвриотопных видов микромицетов из родов *Paecilomyces*, *Mucor*, *Aureobasidium*. На фоновом участке почва, растительность и почвенная микробиота характерны для зональных природных экосистем данного района. Установлено, что породный отвал не является источником значительного загрязнения почв аэрогенным путём. Изменения в микробном комплексе почв на прилегающей к отвалу территории связаны, главным образом, с изменением условий функционирования тундровой экосистемы в связи с формированием породного отвала.

The article is devoted to investigation of vegetation, soils, and soil microbiota in the impact area of the coal mine 'Vorkutinskaya' located in the Vorkuta industrial region (Komi Republic, Russia). Area around coal mining is divided into three impact zones (impact zone, buffer zone and background). The impact zone near mine dumps is being overgrown with grassy plants which ratio in projective cover is 40%. Soils contain increased amounts of barium and strontium as compared to background since they are contaminated with coal dust that includes the above elements. Soil microbiota involves species which normally grow at anthropogenically disturbed areas as black sterile colonies of *Mycelia sterilia*, *Cladosporium cladosporioides*, *Aureobasidium pullulans*, *Paecilomyces carneus*, *P. inflatus*, *Mucor* sp. and yeast fungi of the *Candida* genus. Soils and vegetation in the buffer zone are less damaged. Soil biota is dominated by species being typical of background soils but also includes numerous eurytopic species of micromycetes from the *Paecilomyces*, *Mucor*, *Aureobasidium* genera. In the background zone, soil, vegetation, and soil microbiota are typical for nature ecosystem of the study region. The mine dumps are identified not to cause significant aerogenic soil pollution. The changes in soil microbe complex at the area near mine dumps are mainly related with changed living conditions of tundra ecosystem due to formation of mine dumps.

Ключевые слова: тундровые экосистемы, растительность, почва, почвенная микробиота, угледобыча, породные отвалы, загрязнение почв

Keywords: tundra ecosystems, vegetation, soil, soil micromycetes, coal mining, mine dumps, soil pollution

В крупных угледобывающих районах, к которым относится и Воркутинский промышленный район (Республика Коми), происходит интенсивное преобразование природной среды и деформация естественных экосистем. Добыча каменного угля как открытым, так и подземным способом сопровождается формированием породных отвалов, занимающих значительную площадь. Отвалы также служат источником аэрогенного загрязнения прилегающей территории [1, 2].

Экосистемы северных регионов формируются в экстремальных климатических услови-

ях, поэтому они очень уязвимы к техногенному воздействию и длительное время восстанавливаются после разрушения.

При изучении трансформации природных экосистем под влиянием различных видов нарушения и загрязнения необходим системный подход, поскольку биогеоценоз является целостным образованием, состоящим из растительного сообщества, зоомикробного комплекса и почвы. Особенно чутко реагируют на изменение условий среды обитания почвенные микроорганизмы, которые могут служить биоиндикаторами состояния окружающей среды.

В тундровой зоне на Северо-Востоке европейской части России микробиологические характеристики почв природных и антропогенно трансформированных экосистем изучены недостаточно. В Воркутинском районе исследовалось, главным образом, влияние угледобывающей промышленности только на почвенные водоросли [2].

В настоящей работе представлены результаты изучения растительного сообщества, почв и почвенной микробиоты как взаимосвязанных компонентов тундровых экосистем в зоне воздействия породного отвала, образующегося при добыче угля на шахте «Воркутинская».

Объекты и методы

Для рассматриваемого района характерны суровые климатические условия. Длительная зима с низкими температурами воздуха (средняя для января -20 , -25 °С) сменяется коротким прохладным летом со средней температурой июля $+12$ °С. Сумма температур воздуха выше $+10$ °С составляет менее 600 °С. За год выпадает в среднем 500 мм осадков. Распространение вечной мерзлоты усиливает суровость климатических условий. Район Воркуты относится к зоне географически сплошного распространения многолетнемерзлых пород.

Зональным типом растительных сообществ в этом районе являются кустарниковые тундры. Наибольшее распространение имеют различные варианты ерниковых, ивняковых и кустарничковых тундр, а также плоскобугристые болота. Несколько реже встречаются дриадовые, осоково- и разнотравно-моховые тундры, осоковые и пушицевые болота, а также травянистые тундры (тундровые луга).

Наиболее распространены на рассматриваемой территории тундровые торфянисто-поверхностно-глеевые почвы, формирующиеся на покровных суглинках. Важной чертой строения почвенного профиля является его резкое разделение на надминеральную (грубогумусовую) и минеральную части.

Исследования на территории расположения породного отвала шахты «Воркутинская», который функционирует с 1994 г. по настоящее время, проводили в летний период 2010 г. Отвал образован шахтными породами, имеющими углисто-аргиллитовый состав. Площадь основания отвала составляет 160 тыс. м², высота около 25 м, объём вмещающей породы более 2500 тыс. м³. Развития растительности на отвале не отмечено. При визуальном обследовании территории были выделены три зоны по

влиянию техногенного объекта на состояние почвенно-растительного покрова. К первой зоне максимального воздействия (импактной) относятся прилегающие к породному отвалу участки, расположенные в радиусе около 50 м. Вторая зона умеренного воздействия (буферная) находится примерно в 700 м от границы отвала, третья зона (условно фоновая) – в 4 км.

На выбранных участках были выполнены геоботанические описания, заложены почвенные разрезы, отобраны образцы почв и отвальной породы на химический и микробиологический анализы.

Микробиологический анализ проводили общепринятыми методами посева почвенной суспензии на агаризованные питательные среды [3, 4].

Для характеристики структуры комплекса грибов использовали такой общеэкологический показатель, как частота встречаемости вида. При этом под частотой встречаемости понимали отношение числа образцов, где вид обнаружен, к общему числу исследованных образцов [5]. На основании величины пространственной частоты встречаемости выделяли редкие виды – частота встречаемости 25 – 30% , частые – 30 – 50% и доминирующие – 50 – 100% .

Идентификацию микроскопических грибов осуществляли по культурально-морфологическим признакам в соответствии с определителями [6 – 9].

Численность микроорганизмов определяли методом люминесцентной микроскопии. Расчёт биомассы производили в соответствии с общепринятой методикой [4].

Химический анализ образцов почв (определение рН вод., содержания органического углерода, азота, фосфора, калия, микроэлементов) проведён в экоаналитической лаборатории «Экоаналит» Института биологии Коми НЦ УрО РАН, аккредитованной в Системе аккредитации аналитических лабораторий Росстандарта России. Для определения содержания кислоторастворимых форм Zn, Cu, Co, V, Ni, Sr, Mn Ba, Ti использовался метод атомно-эмиссионной спектроскопии в индукционно-связанной плазме. Анализ проводили на приборе Spectro Ciros (Германия). Статистическую обработку данных производили с помощью пакета программ Statistica-6.0, MS Excel 5.0, Biodiversity.

Результаты и их обсуждение

Участок в импактной зоне расположен к северу от отвала и представляет собой нару-

шенную ерниково-ивняковую разнотравно-моховую тундру. Здесь отмечены старые следы прохода гусеничного транспорта. Напочвенный покров и верхние горизонты почв характеризуются частичным нарушением. На рассматриваемом участке импактная зона защищена отвалом от преобладающих в данном районе южных и юго-западных ветров. На склонах и у подножия отвала происходит значительное накопление снега, и соответственно в тёплый период участок имеет избыточное увлажнение.

В ярусе кустарников преобладают карликовая берёза, ивы филиколистная, шерстистая и серо-голубая. В травянисто-кустарничковом ярусе господствуют травы, обычные для тундровой зоны, в частности, вейник незамечаемый, ясколка енисейская, виды влажных местообитаний – пушица Шейхцера, белозор болотный, а также элементы антропогенной флоры – щучка дернистая, хвощ полевой и ряд других. Из кустарничков единично присутствуют брусника, голубика и ива сетчатая. Напочвенный покров образован крупными сливающимися пятнами зелёных и политриховых мхов, его проективное покрытие составляет 60%.

В процессе формирования шахтного отвала произошло частичное нарушение почвенно-растительного покрова в импактной зоне, изменился гидротермический режим. Изменение условий обитания привело к зарастанию данного участка травянистыми растениями, их доля в проективном покрытии составила около 40% (на ненарушенных территориях обычно 5–10%).

Почвенная прикопка сделана на нарушенном участке, заросшем травами и фрагментарно занятом моховой растительностью. Избыточное увлажнение нашло отражение и в строении профиля почвы. Сверху до 2 см глубиной слой из опада трав и слаборазложившихся моховых остатков, ниже суглинок до 4 см, тёмно-серый, вязкий, сырой, переплетён корнями трав. Под слабоодревнованным слоем наблюдается неравномерно окрашенный суглинок – на сизо-сером фоне ржаво-бурые пятна. На глубине от 6 до 18 см отмечена погребённая масса торфянистого слоя с остатками кустарничковой растительности. С глубины 18–20 см следует глеево-тиксотропный суглинок, аналогичный такому же в ненарушенных почвах.

В буферной (умеренного воздействия отвала) зоне участок, где проводились исследования, расположен примерно в 600 м в северном направлении от участка в импактной зоне

и представляет собой ерниково-ивняковую пушицево-моховую тундру. Механические нарушения почвенно-растительного покрова не отмечены. Сообщество характерно для вершин, пологих склонов моренных гряд и холмов. Микрорельеф слабоволнистый, мелкопочковатый. Кустарниковый ярус вполне развит, сложен карликовой берёзой и ивами филиколистной, шерстистой и серо-голубой, общее проективное покрытие составляет около 60%. Травянисто-кустарничковый ярус не сплошной, но также хорошо выражен. Ведущую роль в нем играет пушица Шейхцера, отмечено небольшое количество кустарничков: вороники, голубики, княженики и трав – овсяницы овечьей, вейника незамечаемого и ряда других. Напочвенный покров практически сплошной, на 70% сложен зелёными мхами, количество лишайников невелико. Почва в буферной зоне – тундровая торфянисто-поверхностно-глеевая суглинистая имеет строение А0А1 – Вg – ВС, характерное для целинных тундровых почв. Участок, на котором был заложен разрез, характеризуется меньшей степенью гидроморфизма по сравнению с импактной зоной.

В качестве фонового выбран участок ивняково-ерниковой кустарничково-моховой тундры, расположенный в 4 км к востоку от породного отвала на плоской вершине водораздельной гряды. Общее проективное покрытие кустарничкового яруса составляет около 70%. В травянисто-кустарничковом ярусе преобладают вороника, брусника и голубика, а также некоторые травы: осока бледноватая, овсяница овечья, грушанка крупноцветковая, золотарник и ряд других. Моховой покров практически сплошной, мощный, сложен в основном зелёными мхами, пятнами встречаются лишайники. Почвенный разрез был заложен на межбугорковом участке, где почва тундровая торфянисто-поверхностно-глеевая суглинистая характеризуется следующим строением: А0А1 – Gtx – Вg – ВС.

Результаты химического анализа почв и смешанного образца отвальной породы представлены в таблице 1. Почвы кислые – значения рНвод. колеблются в пределах 4,6–5,5. Органический углерод и минеральные элементы во всех почвах сосредоточены в верхнем органогенном горизонте. В минеральном горизонте их концентрация резко снижается. Таким образом, на всех исследованных участках проявляется характерное для северных почв резкое разделение органогенного слоя и минеральной толщи по содержанию органического углерода

Таблица 1

Химический состав тундровых почв и отвальной породы

Месторасположение	Горизонт, глубина, см	pHвод.	Сорг., %	N _{гидр}	P ₂ O ₅	K ₂ O
				мг/100 г почвы		
Породный отвал	Отвальная порода, 0–10	8,0	17,39	2,46	67,2	15,08
Импактная зона	A0 0–2	5,6	11,03	10,64	12,71	69,90
	Gtx 2–10	5,0	3,26	2,91	5,52	9,63
Буферная зона	A0A1 0–12	5,5	9,01	12,32	11,91	35,55
	Bg 10–20	4,6	2,03	2,91	2,87	6,14
Фон	A0A1 0–6	5,2	13,69	12,32	14,92	41,92
	Gtx 6–20	4,9	5,14	6,00	1,65	7,53

Таблица 2

Содержание микроэлементов в почвах и отвальной породе, мг/кг

Местоположение	Горизонт, глубина, см	Cu	Zn	V	Co	Ni	Mn	Sr	Ba
Породный отвал	Отвальная порода, 0–10	56	77	40	18	90	480	98	180
Импактная зона	A0 0–2	16	49	42	9	29	450	51	120
	Gtx 2–10	13	39	51	9	28	430	36	160
Буферная зона	A0A1 0–10	13	45	50	9	25	350	35	98
	Bg 10–20	11	45	58	11	24	370	18	68
Фон	A0A1 0–6	12	50	49	8	21	450	36	90
	Gtx 6–20	5	27	48	6	13	220	12	41

и минеральных элементов, высвобождающихся из разлагающихся растительных остатков. В почвах на участках, расположенных вблизи отвала, не обнаружено заметных изменений в рассматриваемых показателях по сравнению с фоном. Следует отметить более высокое содержание калия в органогенном горизонте почвы импактной зоны, что, по-видимому, связано со значительной долей участия травянистой растительности в напочвенном покрове на данном участке.

Отвальная порода (смешанный образец) характеризуется слабощелочной реакцией и повышенным содержанием органического углерода и фосфора (табл. 1).

Для оценки степени загрязнения почв изучалось содержание в них некоторых микроэлементов. В породе отвала и в почвах определяли содержание тех элементов, которые, главным образом, участвуют в загрязнении почв под воздействием шахтного комплекса [2]. Результаты анализа приведены в таблице 2.

По данным количественного химического анализа, содержание большинства микроэлементов в почвах соответствует фоновым значениям для рассматриваемой территории [2, 10] и не превышает ПДК (ОДК) [11, 12].

Относительно более высокие концентрации некоторых микроэлементов (Cu, Zn, Mn, Ni, Ba) в органогенных горизонтах по сравнению с минеральными связаны с процессом биогенной аккумуляции. Отвальная порода характеризуется более повышенным количеством Cu, Zn, Co, Ni, и особенно Sr и Ba по сравнению с почвами. Установлено, что основными микроэлементами углевещающих пород являются именно Ba и Sr [2]. В почве импактной зоны также отмечено более высокое содержание Sr и Ba, чем в почвах буферного и фонового участков, что, по-видимому, связано с загрязнением угольной пылью прилегающей к отвалу территории.

При добыче угля вскрышные и шахтные породы, попадая на дневную поверхность, осваиваются различными организмами, в том числе и микобиотой. Из отвальной породы выделены и идентифицированы 20 видов микромицетов, принадлежащих к 9 родам из отделов *Zygomycota*, формального класса *Anamorphic fungi* и *Basidiomycota* (табл. 3). Наибольшее видовое разнообразие обнаружено среди анаморфных грибов (шесть родов) и зигомицетов (три рода). Зигомицеты представлены 8 видами из родов *Mucor* и *Mortierella*, широко рас-

пространёнными в почвах в разных географических зонах. Из образцов породы активно выделялись также колонии *Mycelia sterilia*, главным образом тёмно-бурые и чёрные. Обилие видов родов *Mucor* и *Mortierella* существенно выше, чем анаморфных грибов. Комплекс типичных видов микромицетов включает 5 доминирующих, 5 частых и 11 редких видов. Доминировали тёмноокрашенные колонии стерильного мицелия трёх типов: чёрные, бурые пушистые и бурые бархатистые

с тяжистым мицелием. Также обильно выделялись два вида рода *Mortierella* – *M. alpina* и *M. cephalosporina*. Из разряда часто встречающихся высоким обилием характеризовались тёмноцветные анаморфные микромицеты – *Cladosporium herbarum*, *Aureobasidium pullulans*, *Macrosporium commune* и из зигомицетов *Mucor racemosus*. Разряд редко встречающихся и случайных грибов, где частота встречаемости меньше 30%, был представлен видами из родов *Phoma*, *Hymicola*, светлоокра-

Таблица 3

Структура комплекса типичных видов микромицетов в почвах и отвальной породе

Доминирующие виды (50–100%)	Частые виды (30–50%)	Редкие виды (25–30%)
Отвальная порода (20 видов)		
<i>Mortierella alpina</i> Peyronel., <i>M. cephalosporina</i> Chalab., <i>Mycelia sterilia</i> (бурый без тяжей, мохнатый), <i>Mycelia sterilia</i> (тёмно-коричневый тяжистый), <i>Mycelia sterilia</i> (чёрный)	<i>Aureobasidium pullulans</i> (de Bary) G. Arnaud, <i>Geomyces pannorum</i> (Link) Hugkes, <i>Cladosporium herbarum</i> (Pers.) Link ex Fries, <i>Macrosporium commune</i> Rabenh., <i>Mucor racemosus</i> Fres	<i>Zygodemus marginatus</i> Cooke & Harkn., <i>Mucor alboater</i> Naumov, <i>M. circinelloides</i> Tiegh., <i>M. globosum</i> A. Fisher, <i>M. hiemalis</i> Wehmer, <i>Phoma</i> sp., <i>Mycelia sterilia</i> (белый плёнчатый с тяжами), <i>Mycelia sterilia</i> (белый пушистый), <i>Hymicola</i> sp., <i>Zygodemus marginatus</i> Cooke & Harkn.
Импактная зона (25 видов)		
<i>Aureobasidium pullulans</i> (de Bary) G. Arnaud, <i>Mortierella alpina</i> Peyronel, <i>M. cephalosporina</i> Chalab., <i>M. verticillata</i> Linnem., <i>Paecilomyces carneus</i> (Duché & R. Heim) A.H.S. Br. & G. Sm., <i>P. inflatus</i> (Burnside) J.W. Carmich., <i>Penicillium lanosum</i> Westl., <i>P. nigricans</i> K.M. Zalessky	<i>Cladosporium herbarum</i> (Pers.) Lk., <i>Geomyces pannorum</i> (Link) Hugkes, <i>Penicillium camemberti</i> Thom, <i>Mortierella pusilla</i> Oudem., <i>M. turficola</i> Y. Ling, <i>M. racemosus</i> Fres, <i>Mycelia sterilia</i> (тёмно-корич. тяжистый), <i>Mycelia sterilia</i> (чёрный)	<i>Mucor alboater</i> Naumov, <i>M. globosum</i> A. Fisher, <i>M. hiemalis</i> Wehmer, <i>M. circinelloides</i> Tiegh., <i>Umbelopsis ramanniana</i> (Möller) W. Gams, <i>U. vinacea</i> (Dixon-Stew.) Arx, <i>Penicillium purpurescens</i> (Sopp) Raper & Thom, <i>Cladosporium cladosporioides</i> (Fres.) de Vries, <i>Mycelia sterilia</i> (c/o)
Буферная зона (22 вида)		
<i>Umbelopsis vinacea</i> (Dixon-Stew.) Arx, <i>U. ramanniana</i> (Möller) W. Gams, <i>Cladosporium herbarum</i> (Pers.) Link ex Fries, <i>Cl. cladosporioides</i> (Fres.) de Vries, <i>Penicillium purpurescens</i> (Sopp) Raper & Thom, <i>Mycelia sterilia</i> (c/o)	<i>Mortierella alpina</i> Peyronel., <i>Aureobasidium pullulans</i> (de Bary) G. Arnaud, <i>Paecilomyces inflatus</i> (Burnside) J.W. Carmich, <i>Penicillium lanosum</i> Westl., <i>P. camemberti</i> Thom, <i>P. kapuscinskii</i> K.M. Zalessky, <i>Mycelia sterilia</i> (т/о)	<i>Mortierella verticillata</i> Linnem., <i>Aspergillus versicolor</i> (Vuill.) Tirab., <i>Penicillium simplicissimum</i> (Oudem.) Thom, <i>P. implicatum</i> Biourge, <i>P. simplicissimum</i> (Oudem.) Thom, <i>P. nigricans</i> K.M. Zalessky, <i>Phoma</i> sp., <i>Trichoderma polysporum</i> (Link:Fr.) Rifai,
Фон (23 вида)		
<i>Geomyces pannorum</i> Hug., <i>Mycelia sterilia</i> (c/o), <i>Cladosporium herbarum</i> (Pers.) Link ex Fries	<i>Mortierella alpina</i> Peyronel, <i>M. isabellina</i> Oudem., <i>M. verticillata</i> Linnem., <i>Umbelopsis ramanniana</i> (Möller) W. Gams, <i>U. vinacea</i> (Dixon-Stew.) Arx, <i>Penicillium camemberti</i> Thom, <i>P. kapuscinskii</i> K.M. Zalessky, <i>P. lanosum</i> Westl., <i>P. simplicissimum</i> (Oudem.) Thom, <i>Mycelia sterilia</i> (т/о)	<i>Aspergillus versicolor</i> (Vuill.) Tirab., <i>Aureobasidium pullulans</i> (de Bary) Arand, <i>Cladosporium cladosporioides</i> (Fres.) de Vries, <i>Penicillium canescens</i> Sopp, <i>P. frequentans</i> Westling, <i>P. herquei</i> Bain. Et Sart., <i>P. implicatum</i> Biourge, <i>P. roqueforti</i> Thom, <i>P. verrucosum</i> var. <i>cyclopium</i> Abe, <i>Phoma</i> sp.

шенными колониями без спороношений, зигомицетами – *Mucor alboater*, *M. circinelloides*, *M. globosum*, *M. hiemalis*, а также базидиальным грибом – *Zygodon marginatus*.

Из органогенного слоя целинной фоновой почвы было выделено 23 вида микромицетов, включая представителей *Mycelia sterilia* (табл. 3). Аскомицеты представлены только одним видом *Chaetomium globosum*, отмеченным единичными находками. Зигомицеты насчитывают 7 видов из родов *Umbelopsis* и *Mortierella*, которые являются типичными для тундровых экосистем [13].

Наибольшее количество среди выделенных видов приходится на несовершенные грибы с доминирующим положением рода *Penicillium* (9 видов). Наиболее часто отмечались *Penicillium camemberti*, *P. kapuscinskii*, *P. simplicissimum*, *P. lanosum*. Род *Aspergillus* представлен видом *A. versicolor*. Высоким обилием характеризовались *Geomyces pannorum* и белая пушистая форма стерильного мицелия, которые можно отнести к разряду доминирующих. Другие светлоокрашенные микромицеты немногочисленны. Тёмноцветные микромицеты представлены всего 2 видами из 2 родов – *Cladosporium herbarum*, *Aureobasidium pullulans*. Комплекс типичных видов микромицетов включает 3 доминирующих, 7 частых и 13 редких видов. Среди доминирующих и частых видов представлены как типичные для тундры *Geomyces pannorum* и *P. lanosum*, так и виды, характерные для более разнообразных климатических условий (космополиты).

В почве импактной зоны выделено и идентифицировано 25 видов из 8 родов и тёмно- и светлоокрашенные представители стерильного мицелия (табл. 3). Отмечается «перерождение» типичного комплекса микромицетов, в результате чего в почве импактной зоны обильно представлены виды, редко встречающиеся или вовсе нетипичные для зональных почв: *Mucor alboater*, *M. globosum*, *M. hiemalis*, *M. circinelloides*, *M. racemosus*, *Mortierella pusilla*, *M. cephalosporina*, *Mortierella turficola*, *Paecilomyces carneus*, *Umbelopsis sp.*, *Paecilomyces inflatus*, *Penicillium purpureascens*, *Penicillium nigricans*, *Mycelia sterilia* (тёмно-коричневый тяжистый). Некоторые виды, часто встречающиеся в почве фоновой территории, перешли в разряд редких (*Mycelia sterilia* (с/о) или, наоборот, редкие виды в разряд доминирующих (*Aureobasidium pullulans*). Коэффициент сходства по Жаккару для всего видового состава почв импактного и фонового участков составил 28,9%, для частых и ред-

ких видов – 6% и 2,2% соответственно. В разряде доминирующих общие виды отсутствовали. На питательной среде Виноградского вокруг почвенных комочков наблюдалось активное их обрастание дрожжевыми грибами, в том числе и рода *Candida*. Дрожжевые грибы также активно выделялись на средах сушла, Чапека и КАА.

В буферной зоне в почве выделены и идентифицированы 22 вида микромицетов, принадлежащих к 8 родам из отдела *Zygomycota* и формального класса *Anamorphic fungi* (табл. 3). Наибольшее видовое разнообразие обнаружено среди анаморфных грибов (пять родов) и зигомицетов (три рода). Комплекс типичных видов микромицетов включает 7 доминирующих, 7 частых и 8 редких видов. Среди доминирующих и частых видов представлены как типичные для тундры – *Geomyces pannorum* и *P. lanosum*, *Cladosporium herbarum*, *Mycelia sterilia* (с/о), *Mortierella alpina*, так и виды, активно развивающиеся в импактной зоне – *Paecilomyces inflatus*, *Penicillium nigricans*, и обнаруженный только в этой зоне вид – *Trichoderma polysporum*.

Наибольшее сходство по Жаккару наблюдалось в парах: фон – буферная зона (69,2%), импактная – породный отвал (45,2%) и буферная – импактная (40%), наименьшее сходство демонстрировали микромицеты фоновой почвы и породного отвала (17,1%).

По данным прямого счёта наибольшей численностью микроорганизмов характеризуются верхние (органогенные) горизонты исследуемых почв (табл. 4). С глубиной их численность резко снижается, что характерно для почв Севера [14, 15]. В субстрате породного отвала также отмечена низкая численность микроорганизмов.

В органогенном горизонте почвы импактной зоны численность бактерий, спор и дрожжеподобных организмов и длина грибного мицелия заметно выше по сравнению с почвами буферного и фонового участков, микробиота которых по этим показателям отличается незначительно. Следует лишь отметить более высокое количество бактерий в почве буферной зоны по сравнению с фоном. В фоновой почве численность микроорганизмов характерна для зональных почв исследуемого района.

Было установлено, что основная биомасса приурочена к органогенным горизонтам, где её величина в почве импактной зоны была наибольшей (табл. 5). При этом основную организацию микробного пула определяют грибы

Таблица 4

Численность бактерий, спор грибов и дрожжеподобных организмов и длина грибного мицелия в почвах и отвальной породе

Горизонт	Бактерии, млрд кл./г а.с.п.	Мицелий грибов, м/г а.с.п.	Споры и дрожжеподобные организмы, млн/г а.с.п.
Породный отвал			
0-20 см	0,09	55,75	0,97
Импактная зона			
A0A1	3,80	504,37	13,7
B	0,01	21,35	0,72
Буферная зона			
A0A1	1,0	223,25	7,23
Gtx	0,01	12,3	1,88
Фон			
A0A1	0,03	283,56	8,16
Gtx	0,01	0	2,20

Таблица 5

Биомасса микроорганизмов в почвах и отвальной породе, мг/г

Горизонт (глубина)	Бактерии	Мицелий грибов	Споры грибов и дрожжеподобные организмы	Всего
Породный отвал				
0-10 см	0,002	0,12	0,01	0,14
Импактная зона				
A0A1	0,08	1,4	0,14	1,62
Gtx	0,0002	0,07	0,007	0,08
Буферная зона				
A0A1	0,02	0,80	0,07	0,89
Gtx	0,0002	0,02	0,01	0,03
Фон				
A0A1	0,04	0,4	0,004	0,44
Gtx	0,0002	0	0,02	0,02

(90%). В минеральных горизонтах происходит резкое снижение биомассы. Субстрат породного отвала также характеризуется низкой биомассой.

В ряду почв зон *фоновая* → *буферная* → *импактная* наблюдалось в общей биомассе возрастание доли спор и дрожжеподобных организмов (0,004, 0,07 и 0,14 мг/г соответственно). Отмеченное обилие дрожжевых грибов в почве импактной зоны может быть связано с наличием здесь травянистой растительности, остатки которой легче подвергаются разложению по сравнению со мхами. Развитию дрожжевых грибов может также способствовать повышение гидроморфизма на участке, расположенном вблизи отвала, и создание анаэробных условий, а также изменение температурного режима в сторону потепления.

Заключение

На территории расположения породного отвала шахты «Воркутинская» были выделены три зоны по влиянию техногенного объекта на состояние растительности, почв и почвенной биоты (импактная, буферная и фон). В импактной зоне нарушен частично почвенно-растительный покров. В растительном покрове отмечено, по сравнению с природными экосистемами, увеличение доли сорно-пионерной растительности, снижение участия кустарничков на фоне увеличения доли осок, болотного разнотравья при заболачивании. Почвы характеризуются повышенным содержанием бария и стронция по сравнению с фоном, что свидетельствует о загрязнении прилегающих к отвалу участков угольной пылью. Содержание тяжёлых металлов не превышает

установленные нормативы. В составе почвенной микробиоты присутствуют виды, устойчивые к техногенному воздействию и характерные для антропогенно нарушенных местообитаний, – черные стерильные колонии *Mycelia sterilia*, *Cladosporium cladosporioides*, *Aureobasidium pullulans*, *Paecilomyces carneus*, *P. inflatus*, *Mucor sp.*, а также дрожжевые грибы рода *Candida*. В органогенном горизонте почвы зафиксированы самые высокие значения численности и биомассы микроорганизмов.

Почвы буферной зоны испытывают меньшее воздействие породного отвала. По содержанию бария, стронция и тяжёлых металлов они незначительно отличаются от почв фона. Растительный покров не нарушен. В составе почвенной микробиоты преобладают виды, характерные для фоновых почв, вместе с тем высокая доля и эвритопных видов микромицетов из родов *Paecilomyces*, *Mucor*, *Aureobasidium*.

На фоновом участке почва, растительность и почвенная микробиота характерны для зональных природных экосистем данного района. Среди микромицетов отмечены виды из родов *Geomyces*, *Mortierella*, *Umbelopsis*, *Phoma*.

Таким образом, угольная пыль, попадающая на прилегающие к породному отвалу участки природных экосистем, загрязняет почву и способствует изменению субстрата для обитания микроорганизмов. Вместе с тем данный техногенный объект не является источником значительного загрязнения почв аэрогенным путем. Формированию в импактной зоне своеобразного комплекса микроорганизмов в большей мере, по-видимому, способствовало изменение микроклимата, увеличение доли травянистой растительности.

Работа выполнена при финансовой поддержке программ Уральского отделения РАН (проект программы инициативных фундаментальных исследований 12-У-4-1005).

Литература

1. Воркута – город на угле, город в Арктике / Под ред. М.В. Гецен. Сыктывкар. 2004. 352 с.
2. Природная среда тундры в условиях открытой разработки угля (на примере Юньягинского месторождения) / Под ред. М.В. Гецен. Сыктывкар. 2005. 246 с.
3. Звягинцев Д.Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых её показателей // Почвоведение. 1978. № 6. С. 48–54.
4. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
5. Мирчинк Т. Г. Почвенная микология. М.: Изд-во МГУ, 1988. 220 с.
6. Милько А. А. Определитель мукоральных грибов. Киев: Наукова думка, 1974. 303 с.
7. Ramirez C. Manual and atlas of the Penicillia. Amsterdam-N.-Y.-Oxford: Elsevier Biomedical Press, 1982. 874 p.
8. Ainsworth and Bisby's Dictionary of the fungi. 8th ed. / Eds. D. L. Hawksworth et al. CABI Bioscience. 1995. 540 p.
9. Domsh K. H., Gams W., Anderson T.-H. Compendium of soil fungi. IHW-Verlag Eching, 2007. 672 p.
10. Дымов А.А., Лаптева Е.М., Калашников А.В., Денева С.В. Фоновое содержание тяжёлых металлов, мышьяка и углеводов в почвах Большеземельской тундры // Теоретическая и прикладная экология. 2010. № 4. С. 43–48.
11. ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с.
12. ГН 2.1.7.2511-09 Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 11 с.
13. Хабибуллина Ф.М., Панюков А.Н. Трансформация микробиоты под влиянием сельскохозяйственного освоения почв в тундровой зоне // Теоретическая и прикладная экология. 2010. № 3. С. 52–58.
14. Паринкина О.М. Микрофлора тундровых почв. Л.: Наука, 1989. 158 с.
15. Стенина Т.А. Биологическая активность некоторых почв Коми АССР // Материалы по почвам Коми АССР. Сыктывкар, 1974. С. 35–42.