

УДК 574.4:504.53.054:622.333(470.13–17)

ВЛИЯНИЕ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ НА ТУНДРОВЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ В ВОРКУТИНСКОМ ПРОМЫШЛЕННОМ РАЙОНЕ

© 2012 Е.Г. Кузнецова, В.А. Ковалева, Ф.М. Хабибуллина, А.Н. Панюков

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

Поступила в редакцию 12.05.2012

Исследовано состояние тундровых экосистем в зоне влияния породного отвала, сформированного в результате угледобычи в Воркутинском промышленном районе Республики Коми. Установлено, что породный отвал не является источником значительного загрязнения почв аэрогенным путем. Преобразования в микробном комплексе почв связаны с изменением условий обитания, обусловленным функционированием породного отвала.

Ключевые слова: *тундровые экосистемы, угледобыча, породные отвалы, загрязнение почв, почвенные микроорганизмы*

В крупных угледобывающих районах, к которым относится и Воркутинский промышленный район Республики Коми, происходит интенсивное преобразование естественных экосистем. Извлечение полезных ископаемых из недр как открытыми, так и подземными горными работами сопровождается нарушением почвенно-растительного покрова и формированием породных отвалов, которые также являются источниками аэрогенного загрязнения прилегающей территории [1, 8]. 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 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 в Воркутинском промышленном районе.

Объекты и методы. Исследования проводились в начале июля 2010 г. на территории расположения породного отвала шахты «Воркутинская», образованного в 1994 г. и функционирующего по настоящее время. Площадь основания отвала составляет 160 тыс. м², высота около 25 м, объем вмещающей породы более 2500 тыс. м³. Породы отвала имеют углисто-аргиллитовый

состав [1]. На отвале не отмечено развитие растительности.

На основании визуального обследования 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 примерно 50 м. Вторая зона умеренного воздействия (буферная) находится примерно в 700 м от границы отвала. Третья зона – условно фоновая, расположена в 4 километрах от отвала. Исследованные здесь растительность и почвы характерны для зональных экосистем данного района. На участках, расположенных в рассматриваемых зонах, были выполнены геоботанические описания, заложены почвенные разрезы. На химический и микробиологический анализы были отобраны образцы породы отвала и из верхних горизонтов почв.

Микробиологический анализ проводили общепринятыми методами посева почвенной суспензии на агаризованные питательные среды [6]. Биомассу микроорганизмов определяли методом люминесцентной микроскопии. Статистическую обработку данных производили с помощью пакета программ Statistica-6.0, MS Excel 5.0, Biodiversity. Химический анализ образцов почв (определение pH, содержания органического углерода, азота, фосфора, калия, микроэлементов) проведен 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, V, Ni, Sr, Ba использовался метод атомно-эмиссионной спектроскопии в индукционно-связанной плазме. Анализ проводили на приборе Spectro Ciros (Германия). Количество Hg определяли методом атомной абсорбции.

Кузнецова Елена Геннадьевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник. E-mail: kuznecova@ib.komisc.ru

Ковалева Вера Александровна, аспирантка

Хабибуллина Флюза Мубараковна, доктор биологических наук, старший научный сотрудник. E-mail: fluz@ib.komisc.ru

Панюков Андрей Николаевич, кандидат биологических наук, научный сотрудник. E-mail: panjukov@ib.komisc.ru

Результаты и обсуждение. Участок, расположенный в импактной зоне, представляет собой нарушенную ерниково-ивняковую разнотравно-моховую тундру. Территория характеризуется бугорковатым микрорельефом со старыми следами прохода гусеничного транспорта и частичным нарушением напочвенного покрова и верхнего горизонта почвы. Следует отметить, что импактная зона защищена от преобладающих в данном районе южных и юго-западных ветров, на склонах и у подножия отвала происходит значительное накопление снега и, соответственно, в теплый период территория имеет избыточное увлажнение.

В ярусе кустарников преобладают карликовая береза, ивы филиколистная, шерстистая и серо-голубая, высота яруса 0,9-1,2 м, сомкнутость до 60%. В травянисто-кустарничковом ярусе господствуют травы, обычные для тундровой зоны: вейник незамечаемый, ясколка енисейская, виды влажных местообитаний – пушица Шейхера, белозор болотный, а также элементы антропогенной флоры – щучка дернистая хвощ полевой и ряд других. Из кустарничков единично присутствуют брусника, голубика и ива сетчатая. Моховой покров образован крупными сливающимися пятнами зелеными и политриховыми мхов, его проективное покрытие составляет 60%.

Почвенная прикнопка сделана на нарушенном участке с фрагментами моховой растительности, зарастающем травами. Признаки усиления гидроморфизма на данном участке были отмечены и в строении профиля почвы. Сверху до 2 см глубиной слой, состоящий из опада трав и слабо-разложившихся моховых остатков, ниже суглинок до 4 см, темно-серый, вязкий, сырой, переплетен корнями трав. Под слабоодренованным слоем наблюдается неравномерно окрашенный суглинок – на сизо-сером фоне ржаво-бурые пятна. На глубине от 6 до 18 см отмечена погребенная масса торфянистого слоя с остатками кустарниковой растительности. С глубины 18-20 см следует глеево-тиксотропный суглинок, аналогичный такому же в ненарушенных почвах.

В зоне умеренного воздействия отвала (буферной) участок 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, высота ив (филиколистной, шерстистой и сероголубой) и карликовой березы – до 80 см, общее проективное покрытие до 60%. Травянисто-кустарничковый ярус не сплошной, но также хорошо выражен. Ведущую роль в нем играет пушица Шейхера, отмечено небольшое количество кустарничков: вороники, голубики, княженики и трав – овсяницы овечьей, вейника незамечаемого и ряда других. Напочвенный покров практически сплошной, на 70% сложен зелеными мхами: *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*, *Aulacomnium turgidum*. Количество лишайников

невелико, небольшими пятнами отмечены обычные тундровые виды: *Thamnia vermicularis*, *Peltigera scabrosa*, *P. malacea*, *Cetraria islandica*, *Flavocetraria nivalis*, *Cladonia arbuscula*, *Cladonia amaurocraea*, *C. Rangiferina*, *S. есмосуна*. Почва на рассматриваемой территории – 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 с ивняково-ерниковой кустарничково-моховой тундрой, расположенный в 4 км к востоку от породного отвала на плоской вершине водораздельной гряды. Общее проективное покрытие кустарников в сообществе составляет около 70%. Ивы и карликовая береза принимают в формировании кустарничкового яруса почти равное участие. Травянисто-кустарничковый ярус вполне развит, в нем 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, зелеными мхами: *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*, *Aulacomnium turgidum*, *Aulacomnium palustre*, пятнами встречаются лишайники: *Cetraria islandica*, *Cladonia stellaris*, *C. alpestris*, *C. Fimbriata*, *C. pocillum*, *Nephroma arcticum*, *Peltigera degenii*, *P. didactyla*, *P. canina*, *P. leucophlebia*, *P. rufescens*, *Stereocaulon glareosum*. Характерной чертой почвенного покрова целинной тундры является ясно выраженная микрокомплексность. На рассматриваемой территории распространен бугорковатый тип тундры, занимающий склоны холмов и плоские водоразделы. Почвенный разрез был заложен на межбугорковом участке, где почва тундровая торфянисто-поверхностно-глеевая суглинистая характеризуется следующим строением: А0А1 - Gtx - Вg – ВС. Важной чертой строения профиля является его резкое разделение на надминеральную (грубогумусовую) и минеральную части.

Результаты химического анализа почв и породы шахтного отвала представлены в таблице 1. Отвальная порода характеризуется слабощелочной реакцией и повышенным содержанием органического углерода и фосфора. Содержание азота низкое. Почвы кислые – значения рН 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 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 на данном участке. Механические нарушения вблизи отвала, а также

возможное пылевое загрязнение не привели к существенному изменению химических характеристик, определяющих плодородие почв.

Таблица 1. Химические свойства тундровых почв и отвальной породы

Месторасположение	Горизонт, глубина, см	pHвод.	Сорг., %	мг/100 г почвы		
				N _{гипс}	P ₂ O ₅	K ₂ O
отвал	отвальная порода, 0-10	8,0	17,39	2,46	67,2	15,08
импактная зона	A0A1 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 0-10	5,5	9,01	12,32	1,91	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

В породе отвала и в почвах определяли также содержание тех микроэлементов, которые, главным образом, участвуют в загрязнении почв под воздействием шахтного комплекса (Природная среда тундры, 2005). Результаты анализа приведены в табл. 2. По данным количественного химического

анализа количество тяжелых металлов Cu, Zn, Ni, V и Hg в почвах не превышает разработанные для этих элементов нормативы ПДК (ОДК) [2, 3]. Содержание микроэлементов соответствует в основном фоновому уровню, установленному для почв рассматриваемой территории [4, 8].

Таблица 2. Содержание микроэлементов в тундровых почвах и отвальной породе, мг/кг

№	Название образца (месторасположение, горизонт, глубина, см)	Cu	Zn	V	Ni	Hg	Sr	Ba
	ПДК (ОДК) для суглинков	66	110	150	40	2,1	-	-
	ПДК (ОДК) для песков	33	55	150	20	2,1	-	-
1	Отвальная порода 0-10	56	77	40	90	0,150	98	180
2	Импактная зона, A0 0-2	16	49	42	29	0,120	51	120
3	Импактная зона, Gtx 2-10	13	39	51	28	0,070	36	160
4	Буферная зона, A0A1 0-10	13	45	50	25	0,106	35	98
5	Буферная зона, Bg 10-20	11	45	58	24	0,038	18	68
6	Фон, A0A1 0-6	12	50	49	21	0,200	36	90
7	Фон, Gtx 6-20	4,4	27	48	13	0,017	12	41

Относительно более высокие концентрации Cu, Zn, Ni, Ba в органогенных горизонтах по сравнению с минеральными связаны с процессом биогенной аккумуляции. Минеральные горизонты почв по содержанию большинства микроэлементов незначительно различаются между собой, поскольку почвы формировались на сходной почвообразующей породе – покровном суглинке. Установлено, что отвалы шахты «Воркутинская» обогащены Ba, Sr, Cu, Zn, V, Ni [1, 8]. По нашим данным, отвальная порода характеризуется также более повышенным количеством этих элементов, кроме ванадия, по сравнению с почвами. В почве импактной зоны отмечено более высокое содержание преобладающих в породе отвала Ba и Sr, чем в почвах буферного и фонового участков, что свидетельствует о загрязнении пылью прилегающей к отвалу территории.

Для оценки влияния породного отвала на почвенную микробиоту были исследованы ее биомасса, трофическая структура и численный состав. По данным прямого счета наибольшей численностью микроорганизмов характеризуются верхние (органогенные) горизонты исследуемых почв (табл. 3). С глубиной численность микроорганизмов резко снижается, что характерно для почв Севера [7, 9].

Субстрат породного отвала характеризуется низкой биологической активностью.

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 целинных почв исследуемого района. В ряду почв зон *фоновая*→*буферная*→*импактная* отмечено возрастание общей биомассы микроорганизмов с особенно резким увеличением доли спор и дрожжеподобных организмов (табл. 4). Обилие дрожжевых грибов в почве импактной зоны может быть связано с наличием здесь травянистой растительности, остатки которой легче подвергаются разложению по сравнению с 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, что благоприятствует процессам брожения.

Таблица 3. 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 4. 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

Данные по изменению численности и биомассы микроорганизмов, определенные люминесцентным методом, подтверждаются результатами исследования основных физиологических групп микроорганизмов, проведенного чашечным методом.

В субстрате породного отвала численность микроорганизмов всех физиологических групп микроорганизмов значительно ниже, чем в почвах (табл. 5).

Таблица 5. Характеристика основных эколого-трофических групп микроорганизмов (численность микроорганизмов в млн КОЕ/г а.с.п.)

Горизонт (глубина)	Аммонификаторы	Минерализаторы	Олигонитрофилы	Олиготрофы	Грибы
породный отвал					
0-20 см	8,8±1,8	5,7±1,1	1,6±0,4	1,5±0,5	0,05±0,01
импактная зона					
A0A1	88,5±4,4	99,1±3,8	30,8±4,1	32,9±2,8	0,60±0,01
Gtx	8,2±2,8	9,7±1,3	8,5±2,2	9,0±1,0	0,03±0,01
буферная зона					
A0A1	35,1±8,3	37,5±2,1	14,8±2,8	14,1±2,7	0,93±0,05
Gtx	1,04±0,9	4,7±2,8	1,1±0,8	4,4±2,2	0,03±0,01
фон					
A0A1	23,6±2,3	25,7±4,2	10,1±1,3	12,3±2,2	0,55±0,02
Gtx	5,0±1,1	5,9±1,2	4,7±2,1	3,8±1,5	0,02±0,01

Следует отметить, что процессы минерализации достаточно активно протекают во всех почвах (коэффициент минерализации больше 1) [5]. Самой высокой численностью трофических групп микроорганизмов характеризуется почва импактной зоны. Увеличение численности аммонификаторов, минерализаторов по сравнению с олигонитрофилами и олиготрофами может указывать на активизацию

процессов разложения легко доступного субстрата с высокой долей остатков травянистых растений. В буферной зоне численность всех основных трофических групп ниже в 2-3 раза по сравнению с импактной зоной и близка к фону, что свидетельствует об уменьшении влияния отвала с увеличением расстояния от его границы.

Выводы:

1. В процессе формирования породного отвала шахты «Воркутинская» произошло частичное нарушение почвенно-растительного покрова в импактной зоне. Изменение условий обитания привело к развитию на данном участке травянистых растений, их доля в проективном покрытии составила около 40% (на ненарушенных территориях обычно 5-10%).

2. Породный отвал не оказывает заметного влияния на изменение физико-химических характеристик почв. В почве импактной зоны отмечено более высокое содержание преобладающих в отвальной породе бария и стронция по сравнению с почвами буферного и фонового участков, что свидетельствует об оседании пыли на прилегающей к отвалу территории, но уровень загрязнения этими элементами почв невысокий. Количество тяжелых металлов во всех исследованных почвах не превышает разработанные для этих элементов нормативы ПДК (ОДК).

3. Наиболее заметные изменения отмечены в почвенной микробиоте, которая чувствительна к малейшим изменениям условий среды обитания. Однако преобразование микробного комплекса обусловлено не столько влиянием поллютантов, а, скорее всего, связано с изменением условий функционирования тундровой экосистемы в связи с формированием породного отвала.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Воркута – город на угле, город в Арктике / под ред. М.В. Гецен. – Сыктывкар, 2004. 352 с.
2. 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.
3. 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.
4. Дымов, А.А. Фоновое содержание тяжелых металлов, мышьяка и углеводов в почвах Большеземельской тундры / А.А. Дымов, Е.М. Лантева, А.В. Калашиников, С.В. Денева // Теоретическая и прикладная экология. 2010. №4. С. 43-48.
5. Звягинцев, Д.Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение. 1978. № 6. С. 48-54.
6. Методы почвенной микробиологии и биохимии / под ред. Д.Г. Звягинцева. – М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
7. Паринкина, О.М. Микрофлора тундровых почв. – Л.: Наука, 1989. 158 с.
8. Природная среда тундры в условиях открытой разработки угля (на примере Юньягинского месторождения) / под ред. М.В. Гецен. – Сыктывкар, 2005. 246 с.
9. Стенина, Т.А. Биологическая активность некоторых почв Коми АССР // Материалы по почвам Коми АССР. – Сыктывкар, 1974. С. 35-42.

INFLUENCE OF WASTE DUMPS ON TUNDRA ECOSYSTEMS IN VORKUTA INDUSTRIAL REGION

© 2012 E.G. Kuznetsova, V.A. Kovalyova, F.M. Habibullina, A.N. Panyukov

Institute of Biology Komi Scientific Center UrB RAS, Syktyvkar

The condition of tundra ecosystems in a zone of waste dump influence created as a result of coal mining in Vorkuta industrial region of Komi Republic is investigated. It is established that waste dump isn't a source of the considerable pollution of soils by aerogenic way. Transformations in microbial complex of soils are connected with change of habitation conditions, caused by functioning of waste dump.

Key words: *tundra ecosystems, coal mining, soil dumps, soil pollution, soil microorganisms*

Elena Kuznetsova, Candidate of Biology, Senior Research Fellow.

E-mail: kuznecova@ib.komisc.ru

Vera Kovalyova, Post-graduate Student

Fluza Khabibullina, Doctor of Biology, Senior Research Fellow.

E-mail: fluza@ib.komisc.ru

Andrey Panyukov, Candidate of Biology, Research Fellow.

E-mail: panjukov@ib.komisc.ru