

А. П. Красавин, А. Н. Хорошавин,  
И. В. Катаева, Г. А. Оборин

## **Некоторые особенности микробных ценозов в условиях токсичных пород шахтных отвалов**

Одной из активных форм восстановления земель, нарушенных горнодобывающей промышленностью, является их ускоренная биологическая рекультивация.

Особое значение разработки по ускоренной биологической рекультивации породных отвалов имеют для Кизеловского угольного бассейна, где практически все отвалы угольных шахт сложены породами, обладающими токсичными свойствами, а плоские отвалы занимают площадь более 150 га. Поэтому Кизеловский угольный бассейн является удобной природной моделью для проведения исследовательских работ, отработки технологии и внедрения метода ускоренной биологической рекультивации породных отвалов без нанесения традиционного плодородного почвенного слоя.

Данные исследования — первый этап работы по ускоренному повышению биогенности породы шахтных отвалов путем сплошной инокуляции их поверхности комплексом микроорганизмов, участвующих в почвообразовании.

Породы отвалов угольных шахт характеризуются чрезвычайно высокой засоленностью, главным образом сернокислым алюминием, сернокислым железом, которые образуются при разложении пирита.

Для пород отвалов характерно низкое содержание гумуса (0,14—0,16%), отсутствие азота, низкое содержание подвижных форм калия и фосфора, кислая реакция среды (величина рН водной варьирует в пределах от 2,93 до 4,35). Гидролитическая кислотность довольно высокая, на отдельных участках достигает 24—30 мг-экв/100 г породы. Содержание общей серы в породах относительно высокое, в среднем составляет 1,2—5,4%.

Повышенное содержание оксидов железа и алюминия, кислая реакция среды, отсутствие питательных веществ обуславливают токсичные свойства пород, что тормозит развитие микроорганизмов, участвующих в процессе почвообразования.

Результаты микробиологических исследований приведены в табл. 1.

Исследования показали, что основным адаптивным качеством микробных ценозов является кислотная природа их метаболитов, активизирующих превращения и миграцию по профилю железа и алюминия, что связано с развитием тионовых бактерий (*Thiobacillus thiooxidans* и *Thiobacillus ferrooxidans*). Наряду с хорошим развитием *Th. thiooxidans* и *Th. ferrooxidans* отмечается довольно высокий удельный вес грибов, что подтверждает кислотные свойства породы.

Низкая биологическая активность породы характеризуется

Таблица 1

Результаты микробиологических анализов породы отвала шахты им. В. И. Ленина

Глубина взятия образца, см	Количество микроорганизмов, тыс./1 г породы								Нитрифицирующие бактерии, балл	Аммонифицирующие бактерии, балл	Протеолитическая активность, балл
	сапрофиты	олигонитрофилы	актиномицеты	плесневые грибы	азотобактер	фосфатрастворяющие бактерии	<i>Thiobacillus thiooxidans</i>	<i>Thiobacillus ferrooxidans</i>			
0—5	2,4	200,9	1,9	6,4	—	3,7	12,9	13,1	1	1	1
5—20	1,3	110,5	0,7	5,1	—	1,5	16,7	20,4	0	0	0

небольшим содержанием сапрофитной микрофлоры, принимающей участие в превращении органо-минерального комплекса.

Порода характеризуется невысоким содержанием микроорганизмов, участвующих в превращении азота. Недостаток легко усвояемых органических веществ задерживает развитие требовательного к этому фактору азотобактера, что соответствует данным А. П. Красавина и др. (1979).

В породе отмечается подавленность процесса нитрификации и аммонификации. Высокое содержание железа и алюминия, по-видимому, является сдерживающим фактором в развитии нитрификаторов, что согласуется с данными А. В. Петербургского (1946), И. Л. Клевенской и др. (1970).

Микроорганизмы, мобилизующие труднорастворимые фосфаты и переводящие их в усвояемую для растений форму, немногочисленны (1,5—3,7 тыс. в 1 г породы).

Токсичные свойства и низкая биологическая активность пород отвалов оказывают неблагоприятное влияние на рост растений. Самозаращение молодых отвалов практически отсутствует. Приживаемость деревьев и кустарников на старых отвалах с подсыпкой почвы в посадочные ямы очень низкая, большинство саженцев усыхают (Махонина, Чибрик, 1978).

Для ускорения процесса почвообразования при биологической рекультивации на поверхности отвалов угольных шахт не-

обходимо устранить токсичные свойства породы и повысить биогенность.

Для повышения биогенности нами была проведена на опытных участках отвала шахты им. В. И. Ленина ПО Кизелуголь сплошная инокуляция комплексом микроорганизмов, участвующих в процессе почвообразования. Для устранения токсичных свойств пород было проведено известкование поверхности опытных участков известью по ГК. В контрольных участках инокуляция породы микроорганизмами не производилась. Размер опытных участков 10×15 м. Повторность опытов — 3-кратная. На опытных участках производился посев семян многолетних злаковых и бобовых (костер безостый и донник белый).

Аналитические данные 2-летних наблюдений по микробиологическим и химическим исследованиям породы опытных участков приведены в табл. 2 и 3.

Исследования показали, что под влиянием инокуляции микрофлорой биогенность породы за период вегетации растений резко возросла по сравнению с контролем. Наибольшая численность микроорганизмов наблюдается на глубине 10 см, что способствует мобилизации потенциального плодородия субстрата к накоплению в нем органического вещества и элементов питания растений (Красильников, 1973). В опытных участках, инокулированных микроорганизмами, отмечалось увеличение численности сапрофитов, актиномицетов, олигонитрофилов. Увеличилось количество клеток азотобактера, присутствие которого является признаком плодородия почв (Руссель, 1977).

Исследования показали, что особенностью микрофлоры данных почвогрунтов является наличие большого количества олиготрофных видов, представленных бактериями и актиномицетами, способных развиваться при недостатке питательных веществ и предпочитающих их ассимилировать из рассеянного состояния, что согласуется с литературными данными (Клевенская и др., 1970).

Олиготрофные виды микроорганизмов играют важную роль в сохранении плодородия, так как удерживают ассимилированные ими вещества в корнеобитаемом слое. Абсолютное количество бактерий увеличивается в среднем до 96 % по сравнению с грибами и актиномицетами. Бактерии становятся доминирующей группой микроорганизмов, что указывает на формирование почвенного слоя. Под действием инокулятов отмечалась активизация процессов аммонификации и нитрификации.

Таким образом, естественный микробоценоз при окультуривании породы на опытных участках, инокулированных бактериями, претерпел в числовом выражении заметные изменения. Увеличение количества бактерий свидетельствует об активизации процессов почвообразования по сравнению с контролем.

Увеличение численности бактериальных ассоциаций согласуется с результатами химических анализов породы.

Таблица 2

Результаты микробиологических исследований пород с опытных участков отвала шахты им. В. И. Ленина

Вариант	Глубина взятия образца, см	Количество микроорганизмов, тыс./1 г породы									
		сапрофиты	актино-мицеты	олиго-нитрофилы	плесневые грибы	фосфатрас-творяющие бактерии	азотобак-тер	аммонифи-цирующие бактерии	нитрифиц-бактерии		
1-й год наблюдений Контроль Порода, инокулир. микроорг.	5-20	1,4	68,8	113,6	1,6	28,0	0,07	6,6	4,1		
	0-5	35,2	136,0	200,0	85,8	130,5	1,9	55,0	20,4		
	5-10	112,0	113,2	212,0	88,8	124,0	2,7	14,2	22,2		
	10-20	18,4	51,2	145,6	19,2	84,8	1,1	13,7	14,0		
2-й год наблюдений Контроль Порода, инокулир. микроорг.	5-20	1,2	53,7	85,6	2,9	22,4	0,05	9,1	5,6		
	0-5	60,0	256,0	371,2	80,0	416,0	123,2	305,0	160,0		
	5-10	156,0	172,0	186,4	113,6	188,0	121,6	210,0	60,0		
	10-20	144,0	133,0	162,6	25,6	168,0	44,8	150,0	51,0		

Таблица 3

Результаты химических анализов пород с опытных участков отвала шахты им. В. И. Ленина

Вариант	Глубина взятия пробы, см	рН Н <sub>2</sub> O	ГК	Обменная кислот-ность	Обмен. оснований	С общ., %	N общ., %	Fe <sup>++</sup>	Fe <sup>+++</sup>	Al <sup>3+</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1-й год наблюдений Контроль Порода, инокул. микроорг.	5-20	4,31	12,7	6,3	2,0	6,46	—	78,0	37,1	112,3	2,0	9,5
	0-5	7,35	—	—	40,5	10,9	0,58	—	—	—	10,92	17,7
	5-10	7,72	—	—	49,0	12,1	0,46	—	—	—	11,48	34,0
	10-20	6,06	2,18	сл.	21,0	11,6	0,43	22,3	22,5	—	2,8	14,6
2-й год наблюдений Контроль Порода, инокул. микроорг.	5-20	3,03	14,5	10,2	2,6	6,5	нет	59,4	39,5	31,5	1,2	8,4
	0-5	7,1	—	—	49,4	10,1	0,7	нет	—	—	34,4	33,5
	5-10	7,0	—	—	49,6	8,6	0,5	нет	—	—	9,2	29,2
	10-20	6,2	0,9	сл.	13,0	7,7	0,4	11,2	5,6	1,3	4,2	28,6

Под влиянием метаболизма микроорганизмов улучшаются агрохимические свойства породы. Величина рН водная в опытном варианте с бактериальным инокулятом повысилась с 4,3 до 7,1, сумма обменных оснований увеличилась с 2,0 до 49,1 мг-экв/100 г.

В породе с опытных участков, инокулированной бактериями, не были обнаружены подвижное железо и алюминий. Количество подвижных фосфатов и калия повысилось с 2,0 и 9,5 мг/100 г до 34,4 и 33,5 мг/100 г соответственно.

Отмечалась тенденция к накоплению азота. На опытных участках наблюдалось образование дернового горизонта на глубину 10—15 см, что свидетельствует о почвообразовательном процессе. Повышение биогенности породы и улучшение ее агрохимических свойств оказало положительное влияние на рост и развитие растений. Исследования показали, что в контрольном варианте семена растений не дали всходов. Наилучшие показатели были отмечены в опытном варианте с инокуляцией бактериями. Как показали 2-годовые наблюдения, высота донника к концу вегетационного периода достигла 123,4 см, костра безостого — 105,8 см. Проективное покрытие составило 90 %. Вес подземной фитомассы составил 195,4 ц/га. Таким образом, с повышением биогенности породы в результате инокуляции ее микроорганизмами снижаются фитотоксичные свойства отвала, что создает благоприятные условия для произрастания высших растений.

На исследуемых участках отвала, кроме опытных растений (костра и донника), было обнаружено еще 38 видов растений.

В составе растительных группировок доминирующее положение занимает разнотравье (33 вида), представленное семействами бобовых, подорожниковых, сложноцветных, крапивных, гречишных, лилейных, маревых, губоцветных.

Кроме разнотравья на опытных участках были обнаружены рябина, береза, осина, ирга и смородина черная. По отношению к влаге все виды, слагающие растительные группировки, относятся к мезофитам, характерным для Западного Предуралья, из них многолетники составляют 89,5 %.

Таким образом, под влиянием бактериальных инокулятов в условиях фитотоксичных пород отвалов угольных шахт создаются условия для деятельности специфического биоценоза, принимающего активное участие в процессе почвообразования.

## Выводы

1. Микробные ценозы токсичных пород отвалов угольных шахт характеризуются слабым развитием микробиологических процессов (аммонификации и нитрификации), малой численностью микрофлоры, участвующей в разложении и превращении

органо-минерального комплекса пород, и преобладанием олиготрофных микроорганизмов.

2. Инокуляция микроорганизмами поверхности отвалов угольных шахт значительно повышает биогенность породы, улучшает ее агрохимические свойства, стимулирует рост и развитие растений.

3. Увеличение в породе опытных участков специализированных и более требовательных к условиям существования видов микроорганизмов (азотобактера, фосфатрастворяющих, аммонифицирующих и нитрифицирующих бактерий) указывает на ускорение первичных процессов почвообразования.

#### ЛИТЕРАТУРА

**Клевенская И. Л., Наплекова Н. Н., Гантимурова Н. И., 1970.** Микрофлора почв Западной Сибири. Новосибирск.

**Красавин А. П., Хорошавин А. Н., Катаева И. В., 1979.** Оценка биологической активности пород отвалов угольных шахт и разрезов при их рекультивации.— В сб.: Растения и промышленная среда. Свердловск.

**Красильников Н. А., 1973.** Микроорганизмы почв и высшие растения. М.  
**Махонина Г. И., Чибрик Т. С., 1978.** Агрохимическая и геоботаническая характеристика терриконов угольных шахт Урала.— В сб.: Растения и промышленная среда. Свердловск.

**Петербургский А. В., 1946.** К вопросу о нитрификации в кислых почвах.— Почвоведение, № 1.

**Руссель С., 1977.** Микроорганизмы и жизнь почвы. М.