

Биологическая характеристика почвогрунтов многолетних отвалов алмазодобывающей промышленности Якутии

А. А. ДАНИЛОВА*, Г. Н. САВВИНОВ, П. П. ДАНИЛОВ, А. А. ПЕТРОВ

*Сибирский НИИ земледелия и химизации сельского хозяйства СО Россельхозакадемии
6300501, Новосибирская обл., пос. Краснообск, а/я 356
E-mail: hain ar@mail.ru

ФГНУ Институт прикладной экологии Севера
677027, Республика Саха (Якутия), Якутск, ул. Каландаришвили, 5

АННОТАЦИЯ

Установлены отличительные от зональной почвы черты биологических свойств многолетних (40–45 лет) отвалов на территории Мирнинского горно-обогатительного комбината. Сравнение свойств отвалов, оставленных на самозаращение и подвергнутых рекультивации, позволяет сделать заключение о низкой биологической эффективности упрощенной схемы рекультивации.

Ключевые слова: отвал алмазодобывающей промышленности, биологические свойства, метод LCPR, рекультивация.

Хозяйственное освоение природных ресурсов Якутии, резко усилившееся с 50-х гг. XX в., не учитывало специфических условий региона. В частности, становление и расширение деятельности алмазодобывающего комплекса в пределах Западной и Арктической Якутии осуществлялось в экстенсивных формах без учета экологической емкости территории. Это привело к значительной деградации экосистем и их важнейшей составляющей – почвенного покрова. К 2002 г. на территории Республики Саха (Якутия) количество земель, нарушенных предприятиями горно-добывающей отрасли (включая добычу алмазов), составило 24,5 тыс. га, или 66,0 % от общей площади нарушенных земель. Из них рекультивировано не более 5 %. В настоящее время отвалы алмазной промышленности представляют реальную угрозу для здоровья населения, поэтому необходимо провести мероприятия по рекультивации дан-

ных объектов. Первым шагом в этом направлении является исследование процессов изменения свойств отвалов, ранее подвергнутых рекультивации.

Известно, что особенности почвообразования на отвалах зависят прежде всего от химического и механического состава исходных пород, а также от зональных условий [1–7]. Показано, что на породах нетоксичных и при относительно благоприятных гидротермических условиях почвообразовательный процесс может начинаться сразу после отсыпки отвалов [8]. При этом морфологически выраженный гумусовый горизонт регистрируется на угольных отвалах через 5–6, на дражных – 10–15 лет [9]. Число микроорганизмов в верхнем слое угольных отвалов достигает зональных значений за 7–8 лет [2]. Темпы заселения почвогрунтов после добычи алмазов в Западной Якутии до сих пор не изучены. Логично предположить низкую скорость этих

процессов, поскольку она ограничивается токсичностью исходных пород и криоаридным климатом территории.

Цель исследования – определение степени формирования биологических свойств почвогрунтов многолетних отвалов алмазодобывающей промышленности для оценки эффективности упрощенной схемы их рекультивации.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проведены в Западной Якутии на территории деятельности Мирнинского ГОК, входящего в состав Акционерного общества “Алмазы России-Саха” (ныне “АЛРОСА”). Исследуемый район находится в координатах 62°30′ с. ш., 114° в. д., относится к умеренной Лено-Вилуйской климатической зоне, характеризующейся резко выраженной континентальностью – суровой зимой с малым количеством осадков и относительно теплым засушливым летом [10].

Изученные отвалы пустых пород отсыпаны примерно 40–45 лет назад. Высота отвалов достигает 30–40 м, часть из них подвергнута рекультивации по упрощенной схеме, заключающейся в планировании поверхности и нанесении слоя суглинка мощностью в 1 м, добытого при вскрытии месторождения. В настоящее время отвал занят редкостойной смешанной культурой лиственницы и березы. Общее проективное покрытие позиции эль составляет примерно 60 %, склона южной экспозиции – 10–15, северной – 40 %. Нерекультивированный отвал остается до сих пор без растительного покрова.

Почвогрунты отвала пустых пород согласно обобщенной схеме субстантивно-генетической классификации почв техногенных ландшафтов [11] относятся к эмбриоземам инициальным (весь склон северной экспозиции, позиция акк – южной) и переходным к органо-аккумулятивному типу (позиции эль и транс склона южной экспозиции) из класса биогенно-неразвитых почв. Гранулометрический состав почвогрунтов супесчаный, средне- и легкосуглинистый, окраска однородная. Изученный слой 0–40 см, если судить по сумме солей, относится к грунтам слабой степени засоления, тип засоления хлоридно-суль-

фатный. рН водной вытяжки близка к 7, содержание $S_{\text{общ}}$ составляет: в позиции эль – 0,15–0,75; транс – 1,07–2,15; акк – 0,38 – 1,83; содержание $N_{\text{общ}}$ не превышает 0,06 %. Для дополнительной характеристики данного объекта отметим следующее. Тело отвала сложено из засоленных пород, содержащих широкий спектр тяжелых металлов в концентрациях, токсичных для высших растений. Согласно результатам химического анализа, за прошедший период времени произошла подтяжка токсичных веществ из тела отвала в нанесенный слой.

Исследован также самозарастающий внутрикарьерный отвал, отсыпанный 40–45 лет назад. Высота его около 15 м. Проективное покрытие растительностью – около 60 %. Поскольку тело данного отвала составлено породами, добытыми с небольшой глубины, можно допустить, что отвал изначально состоял из потенциально плодородного материала.

На территории исследования (карьер “Интернациональный”) зональными являются мерзлотно-дерново-карбонатные среднесуглинистые почвы с содержанием $S_{\text{общ}}$ в слое 0–3 см 85,7 %; 3–6 см – 7,45; 6–45 см – 2,45 %, рН соответственно – 6,4, 7,1, 7,7; $N_{\text{общ}}$ в слое 3–6 см – 0,21 %, 6–45 см – 0,10 %. Карбонаты отмечены ниже 45 см.

Образцы почв и грунтов отобраны в октябре 2008 г. до глубины 40 см по слоям мощностью 10 см. Средний образец составлен из 10 индивидуальных.

Число КОЕ (колонии образующих единиц) учитывали на средах КАА, МПА стандартного состава, кроме того, для повышения учитываемости сапрофитной микрофлоры субстратов использовали среду МПА, разбавленную в 30 раз. На каждой среде учет числа КОЕ проводили через 24 ч в течение 3 сут после посева. Функциональный спектр микробного комплекса оценили при помощи метода МСТ (LСРР) [12] с использованием 24 субстратов (табл. 1).

Индекс функционального разнообразия (ИФР) микробного комплекса рассчитали по формуле [13]: $d = S - 1/\log N$, где S – число потребленных субстратов, N – всего субстратов, задействованных в опыте. Инвертазную активность почвы оценивали по

Список субстратов, использованных для тестирования функционального спектра микробного комплекса почв и грунтов

Группа субстратов	Субстраты
Спирты	Дульцит, инозит, маннит, сорбит, глицерин
Углеводы	Мальтоза, лактоза, сахароза, рафиноза, глюкоза, арабиноза, рамноза, ксилоза, галактоза, фруктоза
Соли органических кислот	К-ацетат, К-цитрат, К-Na винно-кислый, К яблочно-кислый, NH ₄ -ацетат
Амиды	Мочевина
Полимеры	Крахмал, целлюлоза, ТВИН-80

методу Галстяна [14]. Повторность анализов 4–5-кратная. Статистическая обработка результатов проведена по пакету программ Statistica.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Биогенность почвогрунтов при самозарастании отвала. По числу КОЕ грунты самозарастающего отвала (СЗО) не уступали зональной почве. Более того, на разбавленной среде МПА в слое 20–40 см СЗО показатель превышал таковой в зональной почве в 4,5 раза, что свидетельствует о повышении с глубиной олиготрофности сапрофитной микрофлоры отвала. На истощение органических источников азота в нижних слоях почвогрунта указывает также повышение соотношения числа КОЕ, учитываемых на средах КАА и МПА (табл. 2).

На рис. 1 представлены результаты учета общего числа и динамики нарастания КОЕ на разбавленной среде МПА в течение 3 сут

после посева. Суммарное число КОЕ в эмбриоземе СЗО, за исключением слоя 0–10 см, было выше, чем в зональной почве. При этом динамика нарастания числа КОЕ в последней была равномерной в течение всего срока наблюдения, тогда как на фоне СЗО максимальный прирост числа КОЕ отмечен на 3-и сут после посева. Отсюда следует, что более высокое число КОЕ на СЗО в сравнении с зональной почвой связано с накоплением микробных клеток с относительно низкой скоростью роста.

Исследование функционального разнообразия микробного комплекса почвогрунтов показало, что на фоне СЗО в слое ниже 10 см имело место накопление более однообразной по пищевым потребностям группы микроорганизмов в сравнении с зональной почвой, о чем свидетельствует понижение ИФР почти в 2 раза (табл. 2).

Из изученных субстратов более подробно рассмотрим ряд глюкоза – сахароза – крахмал – целлюлоза, постепенно усложняющих-

Т а б л и ц а 2

Число КОЕ в зональной почве и почвогрунтах, млн/г

Слой, см	МПА ¹		МПА ²		КАА		КАА/МПА ¹		МПА ² /МПА ¹	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
0–10	8	11	24	30	35	25	3,1	2,3	3,0	2,7
10–20	12	12	30	26	38	35	2,9	2,9	2,5	2,2
20–40	6	8,5	5	31	15	49	8,2	5,8	0,8	3,6
Доверительный интервал	3				5		–		–	

П р и м е ч а н и е. 1 – зональная почва, 2 – самозарастающий отвал; МПА¹, МПА² – соответственно среда стандартной концентрации и разбавленная в 30 раз.

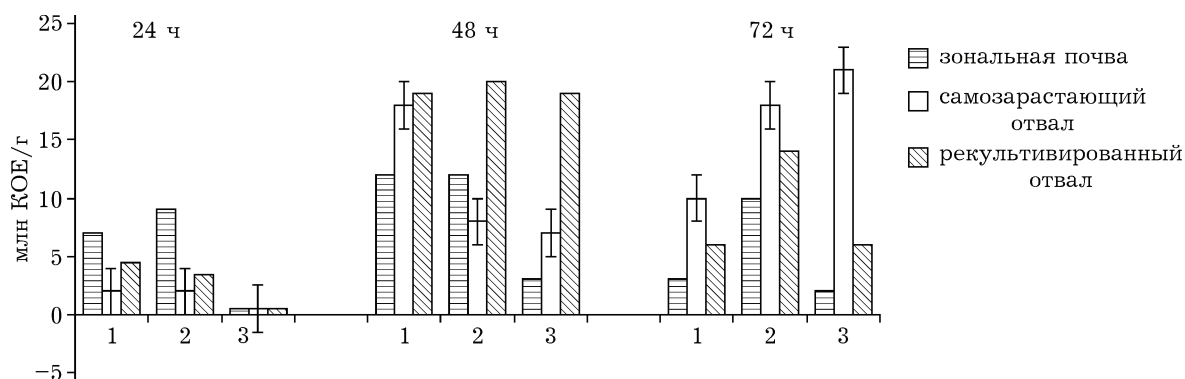


Рис. 1. Дифференциация сапрофитного микробного комплекса зональной почвы и почвогрунтов по скорости роста на питательной среде. Здесь и на рис. 2, 3. слой, см: 1 – 0–10, 2 – 10–20, 3 – 20–40. Отрезком обозначен доверительный интервал при P_{05}

ся по составу и уменьшающихся по доступности для микробной утилизации. Как следует из рис. 2, активность микробного комплекса в слое 0–10 см не зависела от варианта опыта. В нижних слоях на фоне СЗО интенсивность утилизации глюкозы и сахарозы выше, чем на фоне зональной почвы, тогда как потребления крахмала и целлюлозы – существенно ниже, т. е. биохимический потенциал микробного комплекса субстрата на СЗО характеризовался более низкой способностью к потреблению сложных углеводов в сравнении с зональной почвой.

Таким образом, выявлены следующие особенности микробного комплекса эмбриозема на самозарастающем отвале в сравнении с зональной почвой: нарастание числа КОЕ с глубиной до величин, существенно превышающих таковые для зональной почвы; преобладание в эмбриоземе клеток с относительно низкой скоростью роста; сочетание высокой численности микробного комплекса эмбриозема с низкими показателями функцио-

нального разнообразия и слабой активностью потребления полимеров.

Биогенность субстрата на рекультивированном отвале пустых пород. По суммарному числу КОЕ в слое 0–40 см почвогрунты со склона южной экспозиции достоверно уступали таковым с северной. При этом закономерности распределения КОЕ по слоям грунта (повышение с глубиной) и соотношение по скорости роста колоний не зависели от экспозиции склона и были сходными с закономерностями, установленными в грунтах самозарастающего отвала (см. рис. 1).

По интенсивности утилизации спектра субстратов микробный комплекс грунтов с южного склона достоверно уступал таковому с северного. ИФР микробного комплекса почвогрунтов с позиции транс не уступал таковому зональной почвы. В остальных позициях катены функциональный спектр микробиоты грунтов был существенно менее разнообразным в сравнении с ненарушенной почвой (см. табл. 2). При этом независимо от экс-

Т а б л и ц а 3

Индекс функционального разнообразия (ИФР) микробного комплекса почвогрунтов и зональной почвы

Слой, см	Зональная почва	Отвал самозарастающий	Отвал рекультивированный					
			Склон южной экспозиции			Склон северной экспозиции		
			Эль	Транс	Акк	Эль	Транс	Акк
0–10	22,3	21,3	17	22	0	18	22	22
10–20	22,3	10,3	9	21	14	8	22	14
20–40	18,1	11,3	0	11	0	4	17	10

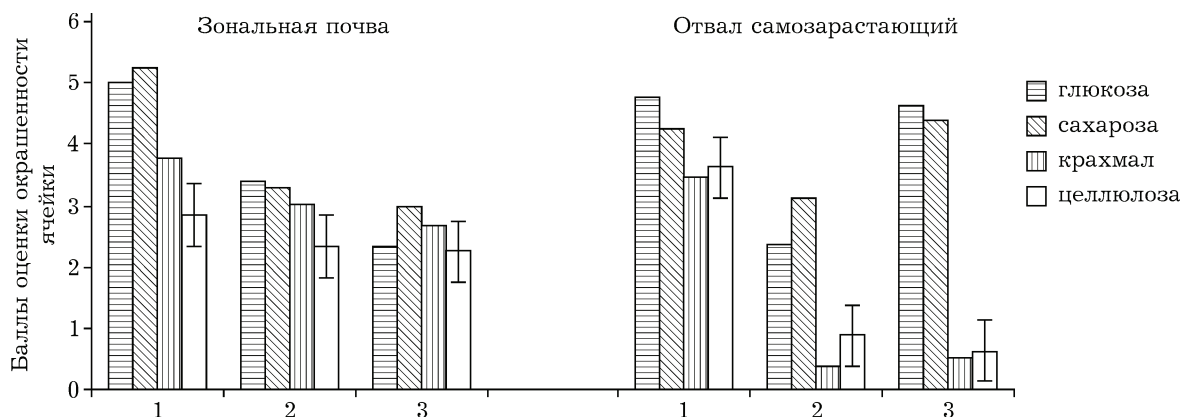


Рис. 2. Интенсивность утилизации углеводов микробным комплексом грунтов самозарастающего отвала и зональной почвы

позиции склона и положения по катене закономерности утилизации углеводов из ряда глюкоза – сахароза – крахмал – целлюлоза сходны с таковыми, установленными в грунтах СЗО (рис. 3).

На основе кластерного анализа сравнили степень сходства вариантов опыта по функциональному спектру микробного комплекса (рис. 4). Как видно из данных, группировка вариантов опыта по всем слоям почвогрунтов сходна: отвал рекультивированный достоверно отличался от отвала самозарастающего и зональной почвы. При этом СЗО ближе зональной почве, чем рекультивированному отвалу. Наибольшие различия между вариантами опыта отмечены в слое 20–40 см,

где активность микробного комплекса грунтов рекультивированного отвала значительно уступала таковой СЗО и зональной почвы, т. е., несмотря на рекультивационные мероприятия, биогенность грунтов отвала пустых пород все еще не достигла уровня самозарастающего отвала.

Инвертная активность субстратов. Как известно, устойчивость живой фазы почвы обеспечивается наряду с пулом микроорганизмов пулом ферментов, иммобилизованных в твердой фазе почвы [15]. По мнению Т. А. Щербаковой [16], именно наличие последних является основным показателем почвообразовательного процесса. Следовательно, оценивая уровень ферментативной активности субстра-

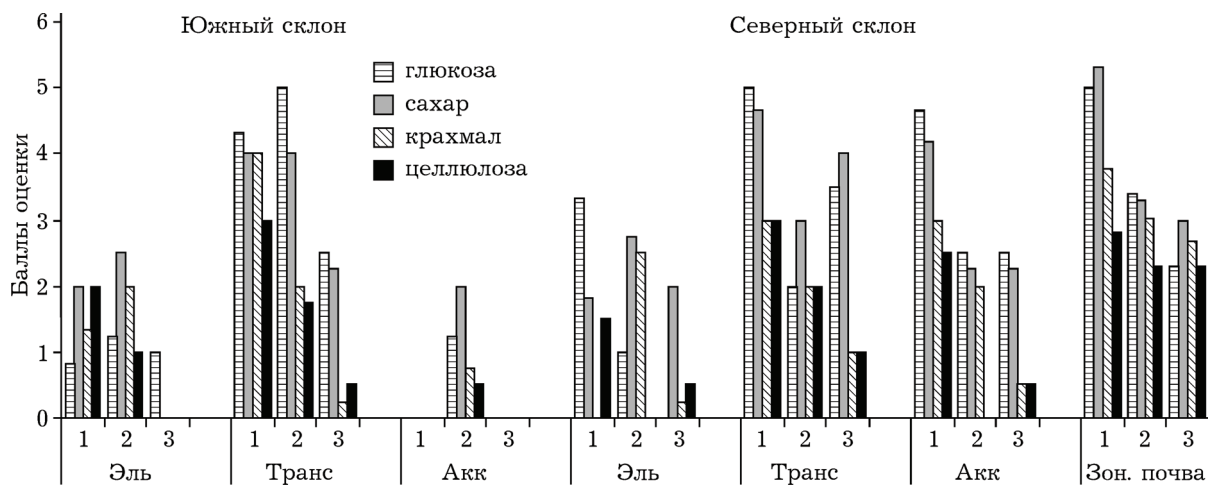


Рис. 3. Интенсивность утилизации углеводов микробным комплексом грунтов рекультивированного отвала и зональной почвы

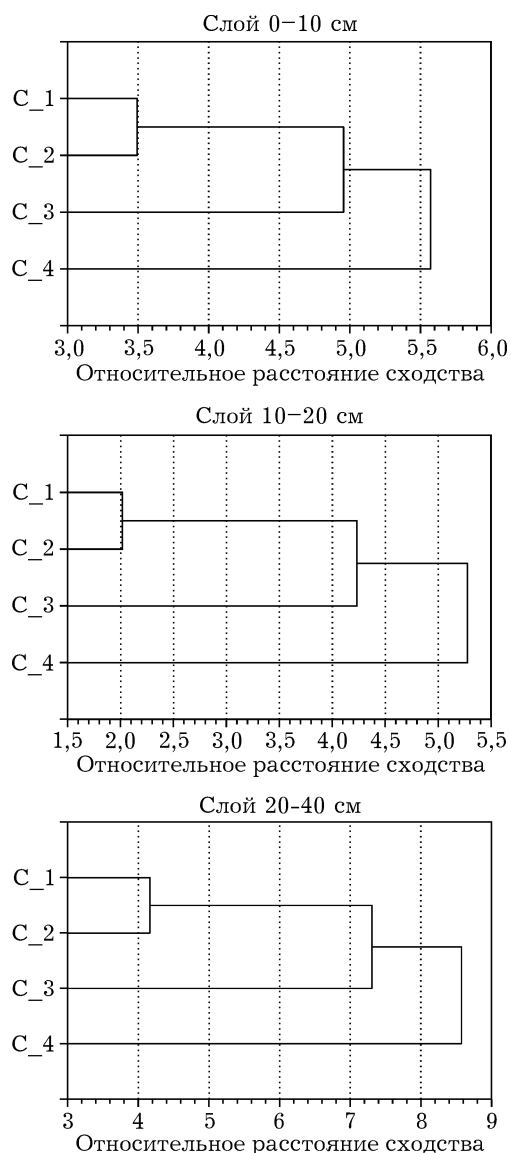


Рис. 4. Оценка степени сходства функционально разнообразия микробного комплекса почвогрунтов и зональной почвы.

1 – отвал рекультивированного южного склона, 2 – отвал рекультивированного северного склона, 3 – отвал самозарастающий, 4 – зональная почва

та в первом приближении, мы можем судить о результатах воздействия живых организмов на исходный субстрат.

Наибольшая инвертазная активность отмечена в слое 0–10 см зональной почвы (20 ± 3) мг глюкозы/г за 18 ч), с глубиной показатель снижался почти в 2 раза, что коррелирует с распределением корней высших растений. За истекший срок после отсыпки и рекультивации инвертазная активность грун-

тов оставалась на уровне показателей почвообразующей породы (около 5 мг), т. е. степень переработки породы живыми организмами можно оценить как очень слабую. Биохимическая активность грунтов нерекультивированного отвала отмечена в виде следов, что коррелировало с их чрезвычайно низкой биогенностью. В частности, на среде МПА даже из разведения 10^3 развивались единичные колонии.

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что закономерности восстановления биологических свойств отвалов алмазодобывающей промышленности Якутии в целом согласуются с таковыми, установленными на отвалах угледобывающей и горнорудной промышленности Сибири и Урала [6, 8, 17, 18]. Так, повышение числа КОЕ с глубиной при самозаращении отвалов отмечено авторами как выраженная закономерность формирующихся экосистем. Нам удалось дифференцировать этот пул по скорости роста, что дало возможность показать преобладание в нем медленно растущих клеток. Микробные клетки вместе с нисходящими потоками попадают в нижние слои почвогрунта и в условиях, не благоприятных для активного заселения, остаются в покое, постепенно накапливаясь. Их высокая численность и низкая активность, экспериментально установленные, описаны в литературе.

Определение функционального спектра этого пула показало, что скорость потребления им общедоступного углевода – глюкозы существенно превышает показатели зональной почвы. Подобный факт известен: согласно данным работы [19], при внесении глюкозы отмечена более высокая первоначальная скорость дыхания в эмбриоземе по сравнению с зональной почвой, что позволило сделать вывод о более высокой метаболической активности микробного сообщества молодой почвы по сравнению с зональной. Наши данные в целом согласуются с этим выводом, если иметь в виду потребление микробным комплексом именно глюкозы. В то же время изучение функционального спектра микробного сообщества эмбриозема позволило показать, что последнее не приспособлено к потреблению основного почвенно-

го полимера – целлюлозы, т. е., несмотря на свою высокую численность, еще функционально не развилось до осуществления основной экологической функции – разложения растительных остатков.

Сравнение полученных данных с таковыми из других регионов говорит о более низкой скорости изменения биологических свойств отвалов алмазной промышленности Якутии, чем, например, угольных. Последние обычно сложены нетоксичными породами, наличие в них органического углерода и резерва НРК (это хорошо осветили авторы, ссылка на которых дана в начале статьи) является существенным фактором для ускоренного заселения субстрата. Кроме того, сама специфика свойств отвалов горно-рудной промышленности обуславливает более низкие в сравнении с угольными темпы заселения субстратов [20]. В условиях отвалов алмазной промышленности Якутии, как отмечено выше, дополнительными ограничивающими факторами служат токсичность исходных пород и криоаридность климата, обуславливающие низкую зарастаемость техноземов высшей растительностью.

Оценивая эффективность рекультивационных мероприятий, проведенных на отвалах алмазодобывающей промышленности, можно отметить следующее. Безусловная необходимость рекультивационных мероприятий даже по самой простой схеме становится ясной при сравнении показателей почвогрунтов отвалов пустых пород рекультивированных и нереккультивированных. При этом сравнение показателей рекультивированного отвала с отвалом самозарастающим указывает на низкую биологическую эффективность проведенных мероприятий.

ВЫВОДЫ

1. Отмечены следующие основные черты биологических свойств изученных отвалов по сравнению с зональной почвой: нарастание числа КОЕ с глубиной до величин, существенно превышающих зональную почву; преобладание клеток с относительно низкой скоростью роста; сочетание высокой численности микробного комплекса эмбриозема с низкими показателями функционального разно-

образия и невысокой активностью потребления полимеров.

2. Сравнение свойств отвалов, оставленных на самозарастание и подвергнутых рекультивации, позволяет сделать заключение о низкой эффективности с точки зрения восстановления биологического потенциала почвогрунта упрощенной схемы рекультивации данных отвалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимов С. С., Титлянова А. А., Клевенская И. Л. Почвообразование в техногенных ландшафтах. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1979. 294 с.
2. Сукцессии и биологический круговорот. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1993. 157 с.
3. Моторина Л. В., Ижевская Т. И. Сравнительная характеристика растительного покрова на отвалах открытых разработок бурого угля и железной руды // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1980. С. 80–87.
4. Махонина Г. И. Начальные процессы почвообразования в техногенных экосистемах Урала: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Томск, 2004. 39 с.
5. Шугалей Л. С. Экологическая оценка антропогенно-нарушенных почв юга Средней Сибири: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Красноярск, 1991. 37 с.
6. Напрасникова Е. В. Почвенно-биохимические свойства нарушенных земель // Человек и окружающая среда на этапе первоочередного развития КАТЭКа. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. С. 74–76.
7. Андроханов В. А., Куляпина Е. Д., Курачев В. М. Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2004. 151 с.
8. Напрасникова Е. В. Биологические свойства почв на угольных отвалах // Почвоведение. 2008. № 12. С. 1487–1493.
9. Гумусообразование в техногенных экосистемах. Новосибирск: Наука, 1986. 119 с.
10. Справочник по климату СССР. Вып. 24, т. II. Якутская АССР. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 551 с.
11. Курачев В. М., Андроханов В. А. Классификация почв техногенных ландшафтов // Сиб. экол. журн. 2002. № 3. С. 255–261.
12. Горленко М. В., Кожевин П. А. Мульти-субстратное тестирование природных микробных сообществ. М.: Макс Пресс, 2005. 88 с.
13. Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. С.187.
14. Галстян А. Ш. Определение активности ферментов почв. Ереван: Айастан, 1978. 55 с.
15. Звягинцев Д. Г. Почва и микроорганизмы. М.: Изд-во МГУ, 1987. 256 с.
16. Щербакова Т. А. Ферментативная активность и трансформация органического вещества. Минск: Наука и техника, 1983. 222 с.
17. Наплекова Н. Н., Кандрашин Е. Р., Трофимов С. С., Фаткулин Ф. А. Формирование микробных ценозов почв техногенных ландшафтов Кузбасса // Изв. СО АН СССР. 1982. № 5. Сер. биол., вып.1. С. 69–73.
18. Клевенская И. Л., Трофимов С. С., Таранов С. А., Кандрашин Е. Р. Сукцессии и функционирование микробоценозов в молодых почвах техногенных эко-

- систем Кузбасса // Микробоценозы почв при антропогенном воздействии. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1985. С. 3–20.
19. Наумова Н. Б. Формирование биомассы почвенных микроорганизмов в ходе первичной сукцессии // Сукцессии и биологический круговорот. Новосибирск, 1993. С. 44–52.
20. Артамонова В. С. Микробиологические особенности антропогенно преобразованных почв Западной Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2002. 210 с.

Biological Characterization of Soil Dumps in Diamond-Mining Industry of Yakutia

A. A. DANILOVA*, G. N. SAVVINOV, P. P. DANILOV, A. A. PETROV

**Siberian Research Institute of Farming and Chemicalization of Agriculture of the Siberian Branch of
Rosselkhozakademia
6300501, Novosibirsk Region, Krasnoobsk, p.o.box 356
E-mail: hainar@mail.ru*

*Institute of Applied Ecology of the North
677027, Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Kalandarishvili str., 5*

Distinguishing features of the biological properties of perennial (40-45 years) dumps compared to the zonal soil at the territory of Mirninsky Mining and Processing Integrated Works were established. Comparison of the properties of dumps left for self-healing and those subjected to recultivation allows us to conclude that the biological efficiency of simplified reclamation scheme is low.

Key words: dumps of diamond mining industry, biological properites, LCPP method, recultivation.