

УДК 631.412

СВОЙСТВА ТЕХНОГЕННЫХ ЭЛЮВИЕВ ОТВАЛА УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА ПРИ ИНОКУЛЯЦИИ ПОЧВЕННЫМИ МИКРООРГАНИЗМАМИ

Макеева Н.А., Неверова О.А.

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, Кемерово, e-mail: natykor@bk.ru

Открытая добыча каменного угля сопровождается образованием обширных площадей отвалов. На первых этапах их восстановления интенсивность почвообразовательных процессов определяется активностью микрофлоры, поэтому внесение микроорганизмов повышает биологическую активность почвогрунтов и позволяет ускорить процессы первичного почвообразования. В данной работе рассмотрены результаты исследований по внесению в техногенные элювии эколого-трофических групп микроорганизмов: микроорганизмов, разлагающих силикаты, микроскопических грибов, микроорганизмов, использующих минеральный азот; и показано их влияние на механический, гранулометрический и агрохимический состав техногенных элювиев. Авторами установлено, что внесение инокулята микроскопических грибов как отдельно, так и в комбинации с микроорганизмами, использующими минеральные формы азота, в большей степени стимулирует процесс накопления в элювиях нитратного азота. Более существенному накоплению обменного калия и подвижного фосфора способствует внесение микроорганизмов, разлагающих силикаты, и микроорганизмов, использующих минеральные формы азота, как в отдельности, так и в совместной комбинации.

Ключевые слова: техногенный элювий, инокулят, микроорганизмы, механический, гранулометрический, агрохимический состав

PROPERTIES OF TECHNOLOGICAL ELUVIUM DUMP COAL MINE BY INOCULATED WITH SOIL MICROORGANISMS

Makeeva N.A., Neverova O.A.

Federal State Budget Scientific Institution The Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, e-mail: natykor@bk.ru

Open coal mining is accompanied by the formation of large areas of dumps. In the early stages of recovery the intensity of soil formation processes determined by the activity of the microflora, so the introduction of microorganisms increases the biological activity of the soil and allows to accelerate the processes of primary soil. In this paper we consider the results of studies on introduction in technological eluvium ecological and trophic groups of microorganisms: microorganisms decomposing silicates, microscopic fungi, microorganisms that use mineral nitrogen; and shows their influence on the mechanical, grain and agrochemical composition of man-made eluvium. The authors found that the introduction of inoculum microscopic fungi, either alone or in combination with microorganisms using mineral form of nitrogen, largely stimulates the accumulation of nitrate nitrogen in eluvium. More substantial accumulation of exchangeable potassium and phosphorus contributes to making rolling microorganisms decomposing silicates and microorganisms using mineral form of nitrogen, either alone or in combination together.

Keywords: technogenic eluvium, inoculum, microorganisms, mechanical, particle size distribution, an agrochemical formulation

Воздействие угледобывающей промышленности на природные ландшафты многопланово, но в первую очередь подвержен деградации почвенный покров. Причем негативные изменения наблюдаются не только на территории непосредственной разработки месторождений, но и в местах складирования вскрышных пород. В результате отвалообразования образуются так называемые техногенные элювии, которые представляют собой раздробленные в результате буровзрывных и вскрышных работ и складированные в отвалы горные породы [1]. Как правило, площади, занимаемые отвалами, лишены плодородного почвенного слоя, и формирование последнего естественным путем представляет собой длительный процесс, измеряемый десятилетиями.

Поскольку интенсивность почвообразовательных процессов на первых этапах восстановления отвалов во многом определяется активностью микрофлоры, как наиболее активного и пионерного компонента педобионтов, предполагается, что интродукция в ювенильную почву популяций микроорганизмов повысит биологическую активность почвогрунтов и позволит ускорить процессы первичного почвообразования на отвалах [14].

В литературе имеются данные, что внесение в техногенные элювии микроорганизмов способствует мобилизации потенциально плодородного субстрата, накоплению в породе органического вещества и элементов питания в доступной для растений форме, увеличению количества обменных

оснований, росту сапрофитной микрофлоры [7, 8, 9]. В свою очередь, улучшение агрохимических свойств и увеличение численности микроорганизмов в отвальных породах указывает на формирование первичных почвенных образований и создает перспективу для устойчивых растительных сообществ.

Цель работы – изучить влияние эколого-трофических групп микроорганизмов на механический, гранулометрический и агрохимический состав техногенных элювиев.

Материалы и методы исследования

Модельный эксперимент заложен на внешнем отвале «Южный» угольного разреза «Кедровский» Кемеровской области. Возраст отвала 25–30 лет. Пробные площадки (ПП) разбиты по схеме:

- ПП 1 – контроль (полив водой);
- ПП 2 – микроскопические грибы (МГ);
- ПП 3 – микроорганизмы, разлагающие силикаты (МРС);
- ПП 4 – микроорганизмы, использующие минеральный азот (МИМА);
- ПП 5 – МГ + МРС;
- ПП 6 – МГ + МИМА;
- ПП 7 – МРС + МИМА;
- ПП 8 – МРС + МГ + МИМА.

Повторность опыта каждой пробной площадки 3-кратная. Делянки отдалены друг от друга для исключения влияния неоднородности элювиального субстрата и рельефа местности.

Инокулят получали путем выделения эколого-трофических групп микроорганизмов из зональных почв (оподзоленный чернозем) на специальных агаризованных средах с дальнейшим наращиванием микробной массы. Культивирование микроорганизмов проводили до логарифмической фазы роста микроорганизмов (плотность культуры 10^9 – 10^{10} клеток на 1 мл питательной среды). Содержание жизнеспособных клеток в жидких средах определяли путем посева суспензии на соответствующие агаризованные среды. Внесение инокулята микроорганизмов проводили дважды за вегетацию.

Образцы техногенных элювиев брали с каждой ПП методом «конверта» на глубине 0–5 см. Анализ образцов механический, гранулометрический и агрохимический состав, содержание тяжелых металлов) проводили на базе аккредитованного испытательного центра агрохимической службы «Кемеровский» по стандартным методикам [2–4, 10].

Результаты исследования и их обсуждение

В формировании почвенной структуры решающая роль принадлежит органическому веществу, почвенной биоте и корням растений, которые создают агрегаты различных размеров с большой неоднородностью пор по размерам и обладающих водоустойчивостью. Структурно-агрегатный состав техногенных элювиев при внесении микроорганизмов существенно не отличается от контроля (табл. 1, 2).

Таблица 1

Гранулометрический состав

№ п/п	Размер агрегатов (в мм) и их содержание (в % от веса воздушно-сухой почвы)								
	> 10	10–7	7–5	5–3	3–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	< 0,25
2009									
1	23,8	9,5	9,6	12,6	10,3	15,8	4,3	6,8	7,3
2	19,0	9,3	8,8	12,0	11,4	21,0	4,9	7,1	6,5
3	28,5	9,9	8,5	11,7	9,8	16,3	3,6	5,7	6,0
4	17,0	6,6	9,7	14,2	11,0	20,6	5,3	7,9	7,7
5	16,8	9,4	9,4	13,8	13,7	21,3	2,1	7,6	5,9
6	21,2	9,3	9,4	11,1	9,8	19,3	3,4	8,8	7,7
7	18,6	9,2	9,5	13,1	9,4	18,5	4,3	9,2	8,2
8	22,3	7,7	8,2	12,8	12,1	20,3	2,9	8,5	5,2
2010									
1	14,2	8,9	13,8	19,6	13,4	16,9	2,7	5,2	5,3
2	20,4	29,8	8,8	11,1	8,1	11,5	1,7	4,5	4,1
3	33,7	11,8	11,1	11,9	7,2	12,1	2,7	4,7	4,8
4	27,7	13,9	10,2	14,0	9,7	13,6	2,3	4,8	3,8
5	33,5	12,1	13,1	17,2	6,2	2,2	1,5	2,2	2,0
6	44,9	18,0	13,0	10,3	5,4	4,9	0,8	1,2	1,5
7	29,6	12,2	11,6	11,6	9,4	13,4	2,7	5,1	4,4
8	28,5	11,8	10,9	14,8	10,9	13,5	2,0	4,1	3,5

Примечания: 1 – контроль; 2 – МГ; 3 – МРС; 4 – МИМА; 5 – МГ + МРС; 6 – МГ + МИМА; 7 – МРС + МИМА; 8 – МРС + МГ + МИМА.

По традиционно сложившимся представлениям, агрономически ценными являются агрегаты от 0,25 до 10 мм, механически устойчивые к разрушению и водопропрочные [11]. В исследуемом техногенном элювии преобладающей фракцией являются крупные агрегаты (от 3 до 10 и более мм), содержание мелких частиц снижено. За два года количество крупных агрегатов увеличилось в среднем с 52 до 69%. Это приводит к тому, что техногенные элювии обладают слабыми свойствами удерживать влагу и легко размываются водой. По механическому составу

техногенные элювии согласно классификации почв Н.А. Качинского [9], основанной на соотношении количеств физического песка и физической глины в почве, являются суглинком средним. Суглинки по своим свойствам являются потенциально-плодородными горными породами. Средние суглинки отличаются структурностью, плодородием, относительно большой влагоемкостью, слабой воздухопроницаемостью, высокой волноспособностью и связностью. Они не засолены, имеют высокую емкость поглощения и степень насыщенности основаниями.

Таблица 2

Определение механического состава по методу Н.А. Качинского

№ п/п	Размер механических частиц в %						Физ. глина Физ. песок
	1,0–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001	
2009 г.							
1	3,6	25,8	31,5	6,1	13,5	19,5	39,1/60,9
2	4,3	25,5	28,7	7,2	15,3	19,0	41,5/58,5
3	3,8	23,8	31,4	6,9	13,3	20,8	41,0/59,0
4	4,0	21,1	33,8	6,5	10,8	23,7	41,1/58,9
5	4,1	18,3	35,3	8,3	13,5	20,5	42,3/57,7
6	3,9	17,5	35,2	8,9	10,9	23,6	43,4/56,6
7	3,5	16,3	36,1	9,3	11,3	23,5	44,1/55,9
8	3,8	15,1	37,5	7,9	14,8	20,9	43,6/56,4
2010 г.							
1	17,9	20,4	17,3	15,6	16,2	12,6	44,4/55,6
2	16,1	21,1	19,0	15,5	17,7	11,6	43,8/56,2
3	16,9	19,4	20,5	14,2	18,1	10,9	43,2/56,8
4	17,0	20,5	18,3	17,2	18,2	8,8	44,2/55,8
5	15,2	22,3	19,6	16,5	18,1	8,3	42,9/57,1
6	15,8	21,6	18,9	17,4	17,5	8,8	43,7/56,3
7	14,6	21,0	2,0	15,8	18,7	7,9	42,4/57,6
8	15,4	21,1	19,4	17,4	18,2	8,5	44,1/55,9

Примечания: 1 – контроль; 2 – МГ; 3 – МРС; 4 – МИМА; 5 – МГ + МРС; 6 – МГ + МИМА; 7 – МРС + МИМА; 8 – МРС + МГ + МИМА.

Таблица 3

Агрохимический состав техногенных элювиев породного отвала при инокуляции почвенными микроорганизмами (2008–2010 гг.)

Номер пробной площадки	Фосфор подвижный P_2O_5 (мг/кг)	Калий обменный K_2O (мг/кг)	Азот нитратный (мг/кг)
1	$7,33 \pm 1,45$	$131,67 \pm 4,41$	$2,77 \pm 1,48$
2	$8,33 \pm 1,67$	$168,33 \pm 6,02^{***}$	$11,40 \pm 4,17^{***}$
3	$15,67 \pm 2,97^{***}$	$208,33 \pm 15,92^{***}$	$5,00 \pm 1,03^{**}$
4	$12,33 \pm 3,39^*$	$191,67 \pm 8,34^{***}$	$5,54 \pm 4,29$
5	$12,33 \pm 1,86^{***}$	$176,00 \pm 20,26^{***}$	$6,27 \pm 1,05^{***}$
6	$12,00 \pm 1,53^{***}$	$151,67 \pm 1,67^{***}$	$10,23 \pm 2,77^{***}$
7	$15,33 \pm 2,61^{***}$	$180,00 \pm 10,42^{***}$	$2,47 \pm 1,95$
8	$12,33 \pm 1,86^{***}$	$161,67 \pm 10,15^{***}$	$6,70 \pm 1,38^{***}$

Примечания: *** – отмечены положительные достоверные отличия от контроля при $P < 0,001$, ** – $P < 0,01$, * – $P < 0,05$; 1 – контроль; 2 – МГ; 3 – МРС; 4 – МИМА; 5 – МГ + МРС; 6 – МГ + МИМА; 7 – МРС + МИМА; 8 – МРС + МГ + МИМА.

Основными агрохимическими свойствами почв, отвечающими за общее плодородие, является содержание подвижных форм макроэлементов – азота, фосфора, калия. Изучение агрохимического состава элювиев целесообразно для оценки биогенности породы. В среднем за три года максимальное повышение нитратного азота в элювиях отмечено в варианте с внесением МГ как отдельно, так и в комбинации с МИМА – выше контроля на 312 и 269 % соответственно ($P < 0,001$) (табл. 3).

Повышение содержания в элювиях подвижных форм калия и фосфора выявлено для вариантов с внесением МРС и МИМА, как в отдельности, так и в совместной комбинации: при внесении данных групп микроорганизмов в отдельности отмечено достоверное увеличение обменного калия на 58 и 46 % ($P < 0,001$), фосфора – на 114 и 68 % ($P < 0,05$). Комбинация этих групп микроорганизмов вызывает повышение K_2O и P_2O_5 на 36 и 109 % ($P < 0,001$) соответственно.

Анализ динамики содержания подвижных форм азота, калия и фосфора в элювиях опытных вариантов за три года показал следующее. В 2008 году максимальные значения нитратного азота отмечены в варианте с внесением МГ – 19,7 мг/кг (в контроле – 0,91 мг/кг). В 2009 г. содержание нитратного азота на пробных площадках было минимальным за три года исследований и варьировало в пределах от 0 до 6,6 мг/кг, полное отсутствие данного показателя было характерно для варианта с внесением комплекса «МРС + МИМА», максимальное – при внесении инокулята МГ. В 2010 г. максимальные значения нитратного азота отмечены в вариантах с внесением МИМА, как в отдельности, так и в виде комбинации «МГ + МИМА» (14,1 и 14,4 мг/кг соответственно, в контроле – 5,7 мг/кг). Увеличение азота в техногенных элювиях, возможно, обусловлено способностью микроскопических грибов разлагать растительные остатки, которые впоследствии подвергаются минерализации, а микроорганизмы, использующие минеральный азот, окисляют аммиак до нитритов.

Содержание калия в почве определяется в основном минералогическим составом – наличием калийсодержащих минералов. Кроме того, причиной аккумуляции калия может быть его привнос в результате ветровой эрозии [5]. Однако, несмотря на высокое содержание в грунтосмесях отвалов первичных и вторичных минералов, име-

ющих в своих кристаллических решетках значительное количество калия, обменными формами, которые могут быть использованы в формировании питательного режима, элювии отвалов обеспечены в недостаточной степени [12].

Максимальное количество обменного калия в элювиальных образцах в 2008 и 2009 гг. отмечено в вариантах с внесением микроорганизмов, разлагающих силикаты, и микроорганизмов, использующих минеральные формы азота, в отдельности и превышало контрольные значения на 50 и 54 % ($P < 0,01$) – в 2008 г.; на 46 и 54 % ($P < 0,01$) – в 2009 г. В 2010 г. максимальные значения K_2O сохранились для варианта с внесением инокулята микроорганизмов, разлагающих силикаты (выше контроля на 85 % при $P < 0,001$).

По литературным данным среднее содержание фосфора в метровом слое почв, осадочных породах и литосфере одинаково (0,08 %), но в верхних гумусовых горизонтах почв оно достигает больших величин в связи с биогенной аккумуляцией [15]. Валовый фосфор состоит из органических и минеральных соединений. Соотношение между ними зависит от типа почв. Доступный для питания растений фосфор находится в форме легкорастворимых фосфатов. При этом следует отметить, что в основном валовое содержание подвижного фосфора определяется его содержанием в породе, который образуется в процессе выветривания и почвообразования. На начальных этапах биологического освоения отвалов процессы выветривания преобладают над процессами почвообразования, что приводит к высвобождению подвижного фосфора из пород. В то же время щелочная реакция среды $pH > 8$ значительно снижает подвижность и доступность для растений. Поэтому может наблюдаться пониженное содержание подвижного фосфора.

Содержание подвижного фосфора в элювиях в 2008 г. максимально увеличивалось в варианте с внесением микроорганизмов, использующих минеральные формы азота (соответствовало 20 мг/кг, что выше контроля в 2 раза), в 2009–2010 гг. – в варианте с внесением микроорганизмов, разлагающих силикаты (превосходило контроль в 2,4 и 2 раза соответственно). Полученные данные свидетельствуют о способности микроорганизмов, разлагающих силикаты, переводить калий и фосфор в доступные для растений формы.

Заключение

Трехлетними исследованиями установлено, что в условиях породного отвала угольного разреза «Кедровский» внесение инокулята микроскопических грибов как отдельно, так и в комбинации с микроорганизмами, использующими минеральные формы азота, в большей степени стимулирует процесс накопления в элювиях нитратного азота. Более существенному накоплению обменного калия и подвижного фосфора способствует внесение микроорганизмов, разлагающих силикаты, и микроорганизмов, использующих минеральные формы азота, как в отдельности, так и в совместной комбинации.

Агрохимический и механический состав опытных образцов техногенных элювиев отличается от контроля незначительно. Однако говорить о том, что внесение микроорганизмов не влияет на данные показатели, нельзя, так как изменение физических свойств почвы происходит в течение достаточно продолжительного временного периода.

Список литературы

1. Ахатов А.Г. Экология (Энциклопедический словарь). – 2-е изд. (с доп. и изм.). – К.: «ТКИ» – «Экополис», 1995. – 368 с.
2. ГОСТ 12536-79. Грунты. Методы лабораторного определения зернового (гранулометрического) и микроагрегатного состава. – М.: ИПК изд-во стандартов, 1980. – 18 с.
3. ГОСТ 26204-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО. – М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991. – 8 с.
4. ГОСТ 26951-86. Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1986. – 7 с.
5. Гродницкая И.Д., Трефилова О.В., Шишкин А.С. Агрохимические и микробиологические свойства техногенных почв отвалов (Канско-Рыбинская котловина) // Почвоведение. – 2010. – № 7. – С. 867–878.
6. Качинский Н.А. Физика почв. – Ч. 1. – М.: Высш. шк., 1965. – 324 с.
7. Корникова Н.А., Неверова О.А. Динамика подвижных форм N, P и K в техногенных элювиях угольного разреза «Кедровский» при внесении инокулята почвенных микроорганизмов // Вестник ИрГСХА. – Вып. 44. – Ч. II. – Иркутск, 2011. – С. 76–82.
8. Красавин А.П., Хорошавин А.Н., Катаева И.В. Восстановление нарушенных земель с использованием бактериальных препаратов // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1988. – № 10 (386). – С. 64–69.
9. Макеева Н.А., Неверова О.А. Биогенность породного отвала при внесении почвенных микроорганизмов [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. – № 6. – URL: <http://www.science-education.ru/130-23216> (дата обращения: 27.11.2015).
10. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – М.: ЦИНАО, 1992. – 65 с.
11. Почвоведение: учеб. для ун-тов. В 2 ч. / под ред. В.А. Ковды, Б.Г. Розанова. – Ч. 1. – Почва и почвообразование / Г.Д. Белицина, В.Д. Васильевская, Л.А. Гришина и др. – М.: Высш. шк., 1988. – С. 69–78.
12. Середина В.П., Андроханов В.А., Алексеева Т.П., Сысоева Л.Н., Бурмистрова Т.И., Трунова Н.М. Экологические аспекты биологической рекультивации почв техногенных экосистем Кузбасса // Вестник ТГУ. Биология. – 2008. – № 2 (3). – С. 61–72.
13. Синельникова А.М. Экспериментальная микробиологическая рекультивация отвалов Бородинского бурого угольного разреза // Молодёжь и наука: сборник материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, посвященной 155-летию со дня рождения К.Э. Циолковского [Электронный ресурс]. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2012. – Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/section31.html>, свободный.
14. Смирнов П.М., Муравин Э.А. Агрохимия. – М.: Агропромиздат, 1988. – 447 с.