

## БИОЛОГИЯ

УДК 631.46+631.61

*А.В. Богородская, О.В. Трефилова, А.С. Шишкин*

### ПРОЦЕССЫ ПЕРВИЧНОГО ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ В ТЕХНОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ НА ОТВАЛАХ БОРОДИНСКОГО БУРОУГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ВОСТОЧНАЯ ЧАСТЬ КАТЭК)

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 14-05-31130.*

Исследованы свойства почвогрунтов и функциональные отклики микрофлоры на параметры среды в техногенных почвах на отвалах Бородинского бурогольного месторождения. Выявлено, что по содержанию основных питательных элементов литостраты значительно уступают фоновым почвам. Нанесение плодородного слоя почвы на поверхность выровненного отвала ускоряет развитие микробных комплексов, но даже к 28 годам не приводит к восстановлению основных физико-химических свойств почв.

**Ключевые слова:** техногенные экосистемы; рекультивация отвалов; почвообразование; микробные комплексы.

Добыча угля карьерным способом приводит к полной трансформации естественных ландшафтов и экосистем на больших территориях. Техногенные почвогрунты существенно отличаются от зональных почв и представляют собой стерильный неозокотоп, осваиваемый организмами «с нуля» [1, 2]. Решающие факторы для биологического освоения субстрата – физико-химические свойства породы, топографический профиль с вариантами рекультивации и климатические условия.

Инициальные экосистемы техногенных ландшафтов, развивающиеся на отвалах вскрышных пород Бородинского бурогольного месторождения, являются удобной моделью для определения скорости и направленности экогенеза, отдельных его стадий: проявления сингенетических сукцессий зоо-, микробо- и фитоценозов, а также течения инициальных процессов почвообразования.

Особенности восстановления почвенного покрова и скорость его эволюции в техногенных экосистемах определяются в первую очередь спецификой биогенных процессов накопления органического вещества и азота в доступных для растений формах. В процессах трансформации растительных остатков и образовании гумусовых веществ первостепенную роль играют почвенные микроорганизмы. Активность микрофлоры во многом определяет морфологию почвенного профиля, физико-химические свойства почвы, интенсивность ее биохимических процессов и скорость круговорота веществ. Изучение структурно-динамических и функциональных откликов микрофлоры на параметры среды в техногенных почвах позволяет оценить интенсивность и направленность почвообразовательных процессов в ювенильных почвогрунтах.

Территория Бородинского бурогольного месторождения расположена в Канско-Рыбинской котловине, которая в соответствии со схемой природной зональности Средней Сибири является северной окраиной лесостепной зоны и представляет собой крупную тектоническую депрессию, ограниченную с юга северными отрогами Восточного Саяна, а с севера и северо-запада – южной оконечностью Енисейского кряжа.

В центральной части котловины преобладают безлесные пространства – степи и поля, чередующиеся с березовыми колками и фрагментами сосновых боров [3].

По почвенно-географическому районированию изучаемая территория относится к Красноярско-Канской подпровинции выщелоченных и обыкновенных черноземов, лугово-черноземных и серых лесных длительно-сезонномерзлотных почв [4]. Формирование этих различных в генетическом отношении почв происходит в одинаковых гидротермических условиях: при относительно низкой температуре воздуха и умеренном количестве атмосферных осадков (среднегодовые соответственно – 1,3°C и 313–340 мм).

Для изучения трех сукцессионных серий (лесная, луговая, эрозионная) на отвалах различной давности и технологии рекультивации подобрано 5 пробных площадей и 2 контрольных участка, характеризующих условно-ненарушенные ценозы Канской лесостепи (лес и луг) (см. табл. 1). Особенности почвенного покрова пробных площадей изучали путем заложения почвенных разрезов. Классификационная принадлежность почв определялась на основе анализа морфологии почвенного профиля [5]. Техногенные поверхностные образования (ТПО) не могут быть предметом генетической почвенной классификации, поскольку в них еще не сформировались генетические горизонты. При анализе почвогрунтов Бородинского разреза использовалась общепринятая систематика техногенных поверхностных образований [Там же].

Образцы почв / ТПО отбирались трижды за вегетационный период (начало июня, середина июля, начало сентября) из почвенных прикопок стандартным методом [6]. Основные агрохимические свойства почв определялись стандартными методами [7, 8]. Содержание микробной биомассы ( $C_{\text{мик}}$ ) определяли методом субстрат-индуцированного дыхания (СИД) [9, 10]. Базальное (фоновое) дыхание (БД) почвы измеряли по скорости выделения  $\text{CO}_2$  почвой за 24 ч ее инкубации при 25°C. Образование  $\text{CO}_2$  почвой оценивали с использованием газового хроматографа Agilent 6890N (Hewlett-Packard, США).

*А. Фоновые (условно-ненарушенные) ценозы.* Почвы фоновых ценозов представлены серой типичной (колковый березняк злаково-травяной) и агрочерноземом

глинисто-иллювиальным типичным (луг разнотравно-злаковый) (табл. 1). По показателям гумусного состояния [11], содержание гумуса в плодородном слое изу-

чаемых почв характеризуется как среднее и высокое (8,5–5,7 и 6,8–6,7% соответственно для серой типичной и агрочернозема).

Т а б л и ц а 1

Основные характеристики пробных площадей

№ пробной площади	Возраст отвала, лет	Местоположение по элементам рельефа и экспозиция склона	Тип современной растительности	Тип почвы / ТПО
<b>Лесной вариант развития экосистемы</b>				
11 А	Фоновая (условно-нечтупренная)	Нижняя часть северного склона, 5°	Березняк злаково-травяной	Серые типичные
1 Б	28	Верхняя часть северного склона	Осинник мертвоткровный	Литостраты
<b>Луговой вариант развития экосистемы</b>				
13 А	Фоновая (условно-нечтупренная)	Южный склон, средняя часть, 10°	Луг разнотравно-злаковый	Агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный
6 В	23	Выровненная поверхность отвала	Луг бобово-разнотравно-мятликовый	Реплантоземы
9 В	4	Выровненная поверхность нижнего уступа отвала	Крупнотравное сообщество с преобладанием сорной растительности	Реплантоземы
<b>Эрозионный вариант развития экосистемы</b>				
3 Б	23	Средняя часть южного склона отвала, 10°	Луг злаково-разнотравный (несомкнутая сорно-пионерная растительность)	Литостраты
8 Г	21	Южный склон, 30–35°	Несомкнутая растительность с преобладанием голого грунта	Литостраты

*Примечание.* Технология рекультивации: А – условно-нечтупренные фоновые ценозы; Б – спланированный отвал без нанесения плодородного слоя почвы (ПСЦ); В – спланированный отвал с нанесением ПСЦ; Г – некультивируемые самозарастающие отвалы. Составлено по [5].

Агрочерноземы глинисто-иллювиальные типичные формируются на красных глинах и имеют следующий морфологический профиль: PU-(AU)-BI-C(ca). Мощность агротемногумусового горизонта (PU) почв не превышает 0–20 см. Структура почвенной толщи PU характеризуется как порошисто-комковато-глыбистая. По механическому составу агрочернозем относят к иловато-пылеватым легким глинам. Водная суспензия почв имеет нейтральную реакцию (рН = 7,4–7,7), с глубиной щелочность водной вытяжки увеличивается (рН = 8,4–8,5). Соотношение С:N не превышает 11–12 (см. табл. 2).

Серые типичные почвы (№ 11), формирующиеся на дериватах коричнево- и желто-бурых слабокарбонатных глин, имеют следующий морфологический профиль: O-AU-AEL-BEL-BT-C. Присутствующая на поверхности серых почв разнотравных березняков лесная подстилка (O) является маломощной (1–2 см) и не имеет сплошного распространения. В виде примеси полуразложившиеся органические остатки подстилки обнаруживаются в нижележащем серогумусовом горизонте (AU), мощность которого, как правило, не превышает 8 см. Структура горизонта непрочная, мелкокомковатая. Реакция слабокислая, почти нейтральная (рН<sub>вод</sub> = 6,9) (табл. 2). Сложение AEL более плотное, структура комковатая. Отмечается наличие кремнезёмистой присыпки. Гранулометрический состав характеризуется как тяжелоуглинистый. При переходе от элювиальной толщи к текстурной гранулометрический состав переходит в глинистый, показатель рН водной суспензии увеличивается до 7,3 в субэлювиальном (BEL) и 7,9 в текстурном (BT) горизонтах. Гумус серой почвы обеднён азотом (С:N = 18–19). Накопление фосфора носит биогенный характер. По содержанию валового калия почвы условно-нечтупренных ценозов схожи (см. табл. 2).

Приведённые выше показатели основных свойств почв контрольных участков согласуются с данными,

опубликованными для аналогичных типов почв Канской лесостепи [12, 13].

Биогенность и вертикальная стратификация микробных комплексов фоновых почв определяются как их свойствами, так и поступлением органического вещества [14]. Выявлено, что максимальный пул активной микробной биомассы расположен в верхнем органогенном (0–5 см) слое контрольных участков и постепенно убывает вниз по профилю (рис. 1). Внутрисезонная динамика содержания микробной биомассы и интенсивности дыхания микроорганизмов для почв лесного и лугового ценозов объясняется поступлением легкогидролизуемого органического вещества и сезонным изменением гидротермических условий почв [15]. Наибольшее содержание С<sub>мик</sub> в верхнем слое серой типичной почвы участка № 11 отмечено в сентябре, тогда как в агрочерноземе лугового сообщества, напротив, содержание С<sub>мик</sub> несколько выше в июне. Активность функционирования микробных комплексов почв как лугового, так и лесного ценоза была минимальна в сентябре, а максимальна – в июне [16].

*Б. Отвалы без нанесения плодородного слоя почвы (ПСЦ).* Формирующиеся при разработке каменного угля отвалы представляют собой хаотичную смесь вскрышных пород палеогенового, неогенового и четвертичного возрастов и, как правило, весьма неоднородны по гранулометрическому составу и химическим свойствам [17]. Отвалы Бородинского разреза сложены палево-лессовидной карбонатной глиной с углем (пробная площадь № 1), палево-бурой карбонатной глиной (№ 8) и бурым песком с хрящем и углем (№ 3). Препятствиями для быстрого зарастания таких отвалов растительностью, прежде всего, травянистой, являются неблагоприятный водный режим рыхлых грунтов ввиду их значительной водопроницаемости, почти полное отсутствие органического вещества, а также бедность субстратов доступными соединениями питательных веществ [17].

Нерекультивированные отвалы, по систематике ТПО, называются литостратами (табл. 1). Морфология литостратов зависит от биологического возраста отвала, состава слагающих пород и уклона поверхности. На инициальной стадии профиль литостратов, сформированный на склонах, как правило, не дифференцирован на горизонты и подвергается развитию эрозивных процессов (№ 8, 3).

Восстановление растительного и почвенного покровов, а также естественное лесовосстановление на выровненных отвалах происходят быстрее, поскольку образующееся органическое вещество не смывается с поверхности. На выровненной поверхности литострата 28-летнего отвала (№ 1) с естественно сформировавшимся осинником мертвопокровным (табл. 1) присутствует слой слаборазложившейся подстилки из листового опада. Выделяется грубогумусный горизонт мощностью 2 см с высоким содержанием гумуса (22,4%) (см. табл. 2). Высокая интенсивность гумусообразования на 28-летнем отвале, идущем по лесной сукцессионной серии развития экосистемы, согласуется с микробиологической активностью верхнего слоя литострата, который характеризовался максимальным содержанием микробной биомассы и интенсивности дыхания микроорганизмов в подстилке и верхнем слое (0–10 см) (рис. 1).

Породы разновозрастных литостратов существенно отличались по валовому содержанию калия и незначительно по фосфору, нет достоверных различий по содержанию подвижных форм фосфора и калия (3,3–4,5 и 6,3–8,0 мг / 100 г) (табл. 2). Содержание углерода и азота в породах отвалов в основном определяется наличием или отсутствием сильноферментированных фрагментов органического материала и углистой пыли, которые невозможно извлечь из образца при стандартной подготовке проб. Содержание гумуса в верхних слоях литостратов разных возрастов достаточно высоко, убывает вниз по профилю и сопоставимо с контролем. На эродированных участках наличие значительного количества гумуса в 21–23-летних литостратах не позволяют однозначно определить процесс почвообразования на отвалах. Если считать, что гумус отвалов –

это результат новообразования и аккумуляции гумусовых веществ, то темпы его накопления достаточно высоки, что может быть связано с эоловыми процессами и формированием благоприятных физико-химических условия для почвенной биоты, которая и определяет интенсивность почвообразовательных процессов в «молодых» почвах. В свою очередь, анализ параметров функциональной активности микробных комплексов литостратов 21–23-летних отвалов (№ 8, 3) показывает неоднозначность протекания в них микробиологических процессов (рис. 1). В течение трех лет наблюдений в верхних слоях литострат этих участков отмечались самые низкие значения  $C_{\text{мик}}$  и БД. На участке № 3 не всегда содержание  $C_{\text{мик}}$  убывало с глубиной профиля, что свидетельствует о неразвитости и очаговости микробиологического профиля на эродированном участке. Показатели функциональной активности микробиоценоза нерекультивированного отвала с плоскостной эрозией (№ 8) также ниже контроля и несбалансированны, о чем свидетельствует высокая интенсивность микробного дыхания по сравнению с биомассой, что в свою очередь сигнализирует о стрессовых условиях для функционирования микробиоценоза эродированного участка, когда повышаются энергетические затраты на поддержание пула микробной биомассы.

В целом можно заключить, что литостраты отвалов обладают исходным плодородием, уровень которого частично наследуется от материнских пород и нарастает в результате микробиологических процессов деградации органического вещества, что обеспечивает растения азотом и минеральными элементами и свидетельствует о первичных почвообразовательных процессах. Интенсивность процессов биологической трансформации и аккумуляции органического вещества зависит от поверхности отвалов и развития эрозивных процессов. Аналогичные выводы были получены на отвалах угольных разрезов в Подмосковье [18, 19], Красноярском крае (Назаровский и Березовский разрезы в западной части Канско-Ачинского бассейна) [17, 20], Амурской области [21], а также в Кузбассе [22, 23].

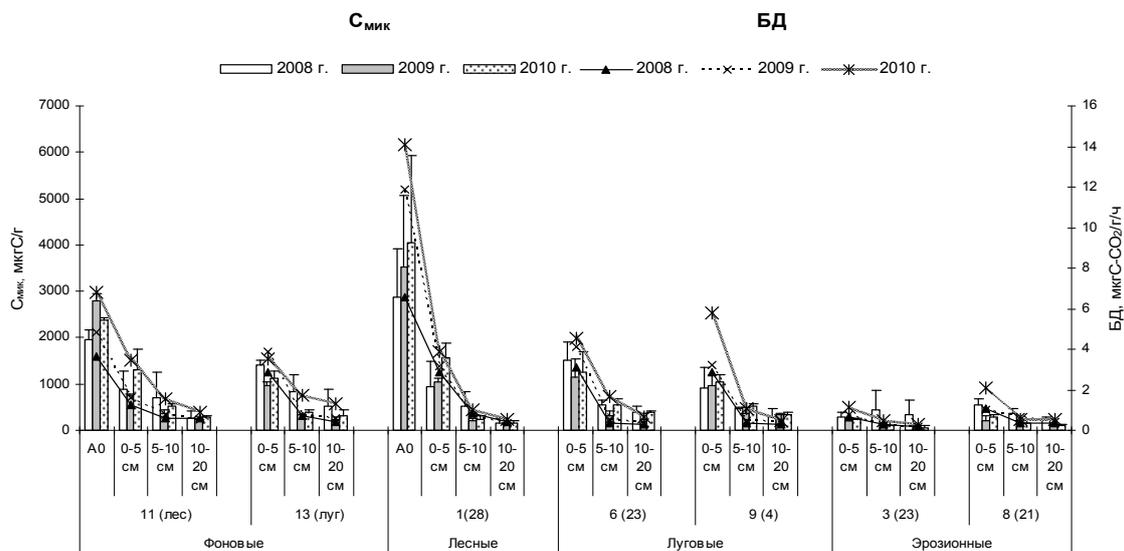


Рис. 1. Годовая динамика содержания углерода микробной биомассы (диаграммы) и интенсивности базального дыхания (графики) в почвах фоновых и техногенных ценозов на разновозрастных отвалах

Агрохимические свойства почв (ТПО) пробных площадей Бородинского угольного разреза

Глубина, см	Горизонт	Гумус, %	Валовые, %			рН вод.	Подвижные, мг/ 100г		
			N	P	K		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N-NH <sub>4</sub>
<b>Лесной вариант развития экосистемы. Серая типичная почва № 11</b>									
2–10	AY	8,50	0,253	0,339	0,936	6,87	4,30	9,79	3,89
10–20	AEL	5,66	0,181	0,205	0,938	–	4,48	9,77	3,41
21–40	BEL	2,34	0,038	0,080	0,988	7,25	5,11	11,22	1,72
40–60		1,11	0,035	0,044	0,966	6,74	5,11	11,22	0,2
60–80	BT	1,47	0,044	0,028	1,039	7,98	5,15	11,36	1,46
<b>№ 1</b>									
0–2		22,4	0,133	0,510	0,770	6,51	4,34	8,15	1,51
2–6 (14)		10,8	0,081	0,337	0,481	–	3,51	0,48	0,94
6–12		14,1	0,135	0,306	0,460	6,27	2,83	5,78	1,59
6(14)–63		1,23	0,073	0,0007	1,061	8,38	4,48	7,99	4,79
<b>Луговой вариант развития экосистемы. Агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный № 13</b>									
0–10	PU	6,80	0,359	0,163	0,945	7,37	4,39	7,39	17,25
10–20		6,65	0,337	0,137	0,932	7,73	4,41	7,46	18,87
22–33	BI	6,95	0,337	0,127	0,974	7,91	4,32	7,88	21,03
33–54		2,16	0,043	0,052	0,975	8,39	4,62	10,32	2,46
54–82	CBI <sub>ca</sub>	1,37	0,039	0,074	1,036	8,50	5,02	11,24	2,30
<b>№ 6</b>									
0–2(3)		10,18	0,492	0,302	0,622	7,01	3,68	13,94	24,21
5–10		6,48	0,262	0,174	0,712	–	4,37	12,66	16,22
10–36		6,75	0,294	0,208	0,863	7,41	4,55	8,43	29,89
36–63		8,55	0,083	0,215	0,125	7,48	2,99	4,42	0,06
<b>№ 9</b>									
0–5		6,89	0,283	0,199	0,821	7,79	4,33	9,64	24,26
5–11		7,07	0,284	0,199	0,822	–	4,43	9,15	16,91
11–70		6,41	0,285	0,184	0,843	–	4,46	8,98	17,29
<b>Эрозийный вариант развития экосистемы № 3</b>									
0–5		5,57	0,0001	0,226	0,098	6,75	3,99	6,22	0,001
5–15		3,61	0,0002	0,213	0,208	–	4,01	6,28	0,001
15–69		2,78	0,0058	0,303	0,313	6,61	4,08	6,87	0,001
<b>№ 8</b>									
0–3		8,45	0,072	0,361	0,249	6,41	4,03	6,81	0,007
3–18		8,89	0,076	0,451	0,393	6,51	3,83	6,67	0,01
18–60		9,07	0,074	0,404	0,349	6,76	3,28	6,26	0,04

В. Отвалы с нанесением ПСП. Биологическая реабилитация нарушенных земель для последующего их использования в сельском хозяйстве основана на искусственном формировании почвенного горизонта путем нанесения предварительно снятого плодородного слоя почвы [24]. По систематике ТПО такие почвогрунты называются реплантоземами [5]. В профиле реплантоземов хорошо различимы два слоя: вскрышные породы и насыпанный плодородный слой почвы, мощность которого на изучаемых участках значительно варьирует от 35 (№ 6) до 70 см (№ 9). Химические свойства слоя ПСП в реплантоземах мало изменяются как с глубиной профиля, так и с течением времени (табл. 2). Исключение составляет верхний вновь сформированный (2–3 см) слой, который спустя 23 года осваивается корнями дерновицных злаков и окультурируется. Данный слой отличается большим накоплением гумуса и валовых запасов азота и фосфора.

По показателям гумусного состояния [11] содержание гумуса в верхнем насыпном (0–20 см) слое характеризуется как среднее и высокое с варьированием от 10,2–6,5% на уч. № 6 до 7,0% на уч. № 9. Профильное распределение гумуса существенно отличается от агрочерноземов контроля, где содержание гумуса снижается постепенно и обусловлено генетической дифференциацией профиля. В рекультивированных почвах резко разграничивается насыпной гумусовый слой с подстилающей вскрышной породой. В результате в

реплантоземах максимальное развитие микрофлоры наблюдается в верхнем наиболее гумусированном слое почвы (до 10 см) и постепенно убывает вниз по профилю, что характерно и для почв фоновых ценозов (см. рис. 1). В 23-летнем реплантоземе (№ 6) высокая внутрисезонная вариабельность содержания микробной биомассы и дыхания микроорганизмов сглаживала годовую изменчивость этих параметров. Выявленная внутрисезонная динамичность параметров функционирования микробоценозов обусловлена как резкими колебаниями гидротермических условий лугового сообщества, так и поступлением доступного органического вещества. В целом содержание  $S_{\text{мик}}$  и интенсивность БД на этом участке сравнимы с аналогичными показателями в почве фонового ценоза (№ 13) и даже превосходят их. Сбалансированность микробиологических процессов (минерализация / иммобилизация углерода) указывает на достижение микробоценозом 23-летнего реплантозема гомеостатического состояния.

Самый молодой 4-летний реплантозем, находясь на стадии активного формирования фитоценоза с преобладанием рудерального крупнотравья, характеризовался высоким, практически не уступающим контролю пулом активной микробной биомассы, а также высокой интенсивностью микробного дыхания. Анализируя годовую динамику рассматриваемых показателей, с течением времени намечается выраженная тенденция к росту дыхания при неизменном пуле микробной био-

массы. Сдвиг баланса в сторону высвобождения углекислого газа свидетельствуют как о нестабильности гомеостатического состояния микробсообществ в реплантоземах молодых отвалов, так и о повышенных энергетических затратах на поддержание пула микробной биомассы, что характерно для незрелых формирующихся сообществ. На начальных этапах сукцессий в микробных популяциях преобладают быстрорастущие г-стратеги, специализирующиеся на утилизации легкоминерализуемых источников углерода, которые нуждаются в большом количестве энергии для поддержания своей биомассы. Они очень активны при разложении органического вещества, но малопродуктивны в отношении накопления биомассы.

Таким образом, анализируя результаты трехлетних мониторинговых исследований отвалов Бородинского месторождения, следует заключить, что литостраты отвалов без нанесения ПСП обладают исходным плодородием, уровень которого частично наследуется от материнских пород и наращивается в результате микробиологических процессов деструкции органического вещества, что обеспечивает растения азотом и минеральными элементами и свидетельствует о первичных почвообразовательных процессах. Интенсивность процессов биологической трансформации и аккумуляции органического вещества зависит от выравненности поверхности, что в свою очередь определяет уровень плодородия отвалов. По содержанию основных питательных элементов литостраты значительно уступают фоновым почвам. Наибольшей сбалансированностью микробиологических процессов характеризуется 28-летний литострат лесного сообщества, сформировавшегося на выровненной поверхности, тогда как в 20-летних литостратах отвалов с постоянной плоскост-

ной эрозией отмечены наиболее низкие показатели активности и неустойчивость функционирования микробного комплекса. Развитие эрозионных процессов и постоянный смыв органического вещества с наклонной поверхности отвалов без ПСП не способствуют как накоплению почвенного органического вещества, так и устойчивости микробиологических процессов, что свидетельствует о постоянной «пионерной» стадии развития микробсообществ и невозможности достижения микробсообществом гомеостатического состояния.

Нанесение ПСП даже к 28 годам не приводит к восстановлению основных физико-химических свойств и не обеспечивает питания растениям на уровне фоновых почв. На отвалах с нанесением ПСП развитие микробных комплексов происходит быстрее, что связано с начальным уровнем плодородия нанесенной почвы, а также с более быстрым накоплением фитомассы, в результате чего происходят накопление почвенного органического вещества и интенсификация процессов их минерализации-гумификации. К 20 годам реплантоземы характеризуются высокими, превышающими контроль величинами  $S_{\text{мик}}$  и БД, сбалансированностью процессов минерализации-иммобилизации органического вещества, выраженной внутрисезонной динамичностью микробиологических процессов, что свойственно зрелым микробным сообществам.

Молодой 4-летний реплантозем находится на стадии развития (активного освоения субстрата). Нестабильность функционирования микробсообщества молодого реплантозема может быть связана как с активно идущими почвообразовательными процессами (формирования почвенной структуры), так и с конкуренцией за доступные органические вещества и азот с активно развивающейся растительностью.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гаджиев И.М., Курачев В.М., Рагим-заде Ф.К. и др. Экология и рекультивация техногенных ландшафтов. Новосибирск : Наука, 1992. 305 с.
2. Горлов В.Д., Лозановская И.Н. Биолого-экологические критерии рекультивации земель и их эффективность // Почвоведение. 1984. № 10. С. 83–90.
3. Черепнин Л.М. Флора и растительность южной части Красноярского края : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М. : МГУ, 1953. 34 с.
4. Снытко В.А., Семенов Ю.М., Мартынов А.В. Почвенно-географическое районирование западного участка КАТЭКа // География и природные ресурсы. 1982. № 2. С. 32–38.
5. Классификация и диагностика почв России / авт. и сост. Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск : Ойкумена, 2004. 342 с.
6. Методы стационарного изучения почв. М. : Наука, 1977. 248 с.
7. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М. : Изд-во МГУ, 1970. 489 с.
8. Пособие по проведению анализов почв и составлению агрохимических картограмм. М. : РОССЕЛЬХОЗДАТ, 1969. 328 с.
9. Попова Э.П., Лубите Я.И. Биологическая активность и азотный режим почв Красноярской лесостепи. Красноярск : Краснояр. книж. изд-во, 1975. 273 с.
10. Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. and Biochem. 1978. Vol. 10. P. 314–322.
11. Гришина Л.А., Орлов Д.С. Система показателей гумусного состояния почв // Проблемы почвоведения. М. : Наука, 1978. С. 42–47.
12. Бугаков П.С., Горбачева С.М., Чупрова В.В. Почвы Красноярского края. Красноярск: Краснояр. книж. изд-во, 1981. 181 с.
13. Попова Э.П. Пищевой режим и биологические свойства почв Красноярской лесостепи // Почвы зоны КАТЭКа. Красноярск : ИЛИД СО АН СССР, 1981. С. 73–80.
14. Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Добровольская Т.Г., Зенова Г.М., Лысак Л.В., Мирчинк Т.Г. Вертикально-ярусная организация микробных сообществ лесных биогеоценозов // Микробиология. 1993. Т. 62, вып. 1. С. 256–278.
15. Клевенская И.Л., Наплекова Н.Н., Гантимурова Н.И. Микрофлора почв Западной Сибири. Новосибирск : Наука, 1970. 222 с.
16. Богородская А.В., Краснощечкова Е.Н., Трефилова О.В., Шишкин А.С. Сезонная динамика развития микробсообществ и комплексов беспозвоночных на отвалах вскрышных пород Бородинского бурогольного разреза (КАТЭК) // География и природные ресурсы. 2010. № 4. С. 36–45.
17. Шугалей Л.С., Яшихин Г.И., Дмитриенко В.К. Биологическая рекультивация нарушенных земель КАТЭКа. Красноярск : Изд-во Краснояр. ун-та, 1996. 186 с.
18. Моторина Л.В. Основные направления научных исследований по рекультивации земель в Подмосковном бурогольном бассейне // Научные основы охраны природы. М. : Наука, 1973. С. 86–103.
19. Моторина Л.В., Чехлина В.Н., Ижевская Т.Н. О некоторых экологических аспектах развития растений на промышленных отвалах в Подмосковном бурогольном бассейне // Экология. 1971. № 5. С. 20–24.

20. Шугалей Л.С. Первичное почвообразование на отвалах вскрышных пород под культурой сосны // Почвоведение. 1997. № 2. С. 247–253.
21. Трегубов Г.А. Рекультивация отвалов Райчихинского бурогоугольного месторождения // Почвоведение. 1974. № 1. С. 121–124.
22. Наплекова Н.М., Трофимов С.С., Кандрашин Е.Р., Фаткулин Ф.А., Баранник Л.П. Микробные ценозы техногенных экосистем Сибири // Техногенные экосистемы: организация и функционирование. Новосибирск : Наука, 1985. С. 38–69.
23. Андроханов В.А., Куляпина Е.Д., Курачев В.М. Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2004. 151 с.
24. Бекаревич Н.Е., Масюк Н.Т., Узбек М.Х. Рекомендации по биологической рекультивации земель в Днепропетровской области. Днепропетровск : Проминь, 1969. 44 с.

Статья представлена научной редакцией «Биология» 3 февраля 2014 г.

**PROCESSES OF PRIMARY SOIL FORMATION IN TECHNOGENIC ECOSYSTEMS AT THE DUMPS OF THE BORODINO BROWN COAL DEPOSIT (EASTERN PART OF THE KANSK-ACHINSK FUEL-ENERGY COMPLEX(KATEK))**

*Tomsk State University Journal.* No. 382 (2014), 214-220. DOI: 10.17223/15617793/382/35

**Bogorodskaya Anna V., Trefilova Olga V., Shishikin Aleksandr S.** V.N. Sukachev Institute of Forest, SB RAS (Krasnoyarsk, Russian Federation). E-mail: anbog@ksc.krasn.ru, trefilova\_dom@mail.ru, shishikin@ksc.krasn.ru

**Keywords:** technogenic ecosystems; reclamation of waste dumps; soil formation; microbial complexes.

The properties of the soils and functional responses of microbial complexes of soils to the environment settings in the technogenic soils at the dumps of the Borodino Brown Coal Deposit have been investigated. It has been revealed that the lithostrata of the dumps are originally fertile. Fertility levels are partly inherited from the parent rock and built up as a result of the microbiological processes of decomposition of the organic matter which provides plants with nitrogen and mineral elements and indicates the primary soil-forming processes. Intensity of the biological transformation and accumulation of the organic matter depends on the smoothed surface, which, in turn, determines the level of dump fertility. The level of basic nutrients in lithostrata dumps is significantly lower than in background soils. The 28-year-old lithostratum of woodland formed on the smoothed surface is characterized by the greatest balance of microbiological processes, whereas the 20-year-old lithostratum of dumps with constant planar erosion is marked by the lowest levels of activity and instability of the microbial complex functioning. Application of topsoil on the smoothed surface of dumps does not lead to the restoration of the basic physical and chemical properties even after 28 years and does not feed plants on the level of background soils. In turn, the development of microbial complexes is faster due to the initial fertility level of the soil applied, as well as to the more rapid accumulation of the biomass resulting in the accumulation of the soil organic matter and intensification of the processes of mineralization and humification. 20-year-old replantozems are characterized by balanced immobilization and mineralization processes of the organic matter, expressed intraseasonal dynamics of the microbiological processes, as well as integrity and differentiation of the microbiological profile, which is characteristic of mature microbial communities. The young 4-year-old replantozem is being developed (active exploration of the substrate). The instability of young replantozem microbial complexes functioning may be associated with active soil-forming processes (formation of soil structure) and competition for the available organic matter and nitrogen with the rapidly growing vegetation.

REFERENCES

1. Gadzhiev I.M., Kurachev V.M., Ragim-zade F.K. et al. *Ekologiya i rekul'tivatsiya tekhnogennykh landshaftov* [Ecology and restoration of technogenic landscapes]. Novosibirsk: Nauka. Siberian Branch Publ., 1992. 305 p.
2. Gorlov V.D., Lozanovskaya I.N. Biologo-ekologicheskie kriterii rekul'tivatsii zemel' i ikh effektivnost' [Biological and environmental soil restoration criteria and their effectiveness]. *Pochvovedenie – Eurasian Soil Science*, 1984, no. 10, pp. 83-90.
3. Cherepnin L.M. *Flora i rastitel'nost' yuzhnoy chasti Krasnoyarskogo kraya*. Avtoref. dis. d-ra biol. nauk [Flora and vegetation of the southern part of Krasnoyarsk Krai. Abstract of Biol. Dr. Diss.]. Moscow: Moscow State University Publ., 1953. 34 p.
4. Snytko V.A., Semenov Yu.M., Martynov A.V. Pochvenno-geograficheskoe rayonirovanie zapadnogo uchastka KATEKa [Soil-geographical regionalization of the western section of KATEK]. *Geografiya i prirodnye resursy – Geography and Natural Resources*, 1982, no. 2, pp. 32-38.
5. Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and diagnosis of soils in Russia]. Smolensk: Oykumena Publ., 2004. 342 p.
6. Rode A.A. *Metody statsionarnogo izucheniya pochv* [Methods of stationary study of soils]. Moscow: Nauka Publ., 1977. 248 p.
7. Arinushkina E.V. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv* [Handbook on chemical analysis of soils]. Moscow: Moscow State University Publ., 1970. 489 p.
8. Karpinskiy N.P., Gavrilov K.A. *Posobie po provedeniyu analizov pochv i sostavleniyu agrokhimicheskikh kartogramm* [Manual for soil analysis and preparation of agrochemical cartograms]. Moscow: ROSSEL'KhOZDAT Publ., 1969. 328 p.
9. Popova E.P., Lubite Ya.I. *Biologicheskaya aktivnost' i azotnyy rezhim pochv Krasnoyarskoy lesostepi* [Biological activity and nitrogen regime Krasnoyarsk forest-steppe soils]. Krasnoyarsk: Krasnoyarskoe knizhnoe iz-vo Publ., 1975. 273 p.
10. Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 1978, vol. 10, pp. 314-322.
11. Grishina L.A., Orlov D.S. *Sistema pokazateley gumusnogo sostoyaniya pochv* [The system of indicators of soil humus status]. In: *Problemy pochvovedeniya* [Problems of Soil Science]. Moscow: Nauka Publ., 1978, pp. 42-47.
12. Bugakov P.S., Gorbacheva S.M., Chuprova V.V. *Pochvy Krasnoyarskogo kraya* [The soils of Krasnoyarsk Krai]. Krasnoyarsk: Krasnoyarskoe knizhnoe izd-vo Publ., 1981. 181 p.
13. Popova E.P. *Pishchevoy rezhim i biologicheskie svoystva pochv Krasnoyarskoy lesostepi* [Feeding regime and biological properties of Krasnoyarsk forest-steppe soils]. In: Korsunov V.M., Shugaley L.S. *Pochvy zony KATEKa* [Soils of the KATEK zone]. Krasnoyarsk: Institute of Forest, SB USSR AS Publ., 1981, pp. 73-80.
14. Zvyagintsev D.G., Bab'eva I.P., Dobrovol'skaya T.G., Zenova G.M., Lysak L.V., Mirchink T.G. Vertikal'no-yarusnaya organizatsiya mikrobnikh soobshchestv lesnykh biogeotsenozov [Vertical-tiered organization of microbial communities of forest ecosystems]. *Mikrobiologiya – Microbiology*, 1993, vol. 62, Issue 1, pp. 256-278.
15. Klevenskaya I.L., Naplekova N.N., Gantimurova N.I. *Mikroflora pochv Zapadnoy Sibiri* [Soil microflora in Western Siberia]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1970. 222 p.
16. Bogorodskaya A.V., Krasnoshchekova E.N., Trefilova O.V., Shishikin A.S. Seasonal development dynamics of microbocenoses and complexes of invertebrates on overburden heaps of the Borodino brown-coal mine (KATEK). *Geografiya i prirodnye resursy – Geography and Natural Resources*, 2010, no. 4, pp. 36-45. (In Russian).

17. Shugaley L.S., Yashikhin G.I., Dmitrienko V.K. *Biologicheskaya rekul'tivatsiya narushennykh zemel' KATEKa* [Biological restoration of disturbed lands of KATEK]. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk University Publ., 1996. 186 p.
18. Motorina L.V. *Osnovnye napravleniya nauchnykh issledovaniy po rekul'tivatsii zemel' v Podmoskovnom burougol'nom bassejne* [Main aspects of research on land restoration in Moscow lignite basin]. In: *Nauchnye osnovy okhrany prirody* [Scientific basis for nature conservation]. Moscow: Nauka Publ., 1973, pp. 86-103.
19. Motorina L.V., Chekhlina V.N., Izhevskaya T.N. O nekotorykh ekologicheskikh aspektakh razvitiya rasteniy na promyshlennykh otvalakh v Podmoskovnom burougol'nom bassejne [Some environmental aspects of plant development in industrial waste dumps in Moscow lignite basin]. *Ekologiya – Russian Journal of Ecology*, 1971, no. 5, pp. 20-24.
20. Shugaley L.S. Pervichnoe pochvoobrazovanie na otvalakh vskryshnykh porod pod kul'turoy sosny [Initial soil formation on overburden rock dumps under pines]. *Pochvovedenie – Eurasian Soil Science*, 1997, no. 2, pp. 247-253.
21. Tregubov G.A. *Rekul'tivatsiya otvalov Raychikhinskogo burougol'nogo mestorozhdeniya* [Restoration of dumps Raichikhino lignite deposit]. *Pochvovedenie – Eurasian Soil Science*, 1974, no. 1, pp. 121-124.
22. Naplekova N.M., Trofimov S.S., Kandrashin E.R., Fatkulin F.A., Barannik L.P. *Mikrobnye tsenozy tekhnogennykh ekosistem Sibiri* [Microbial cenoses of technogenic ecosystems in Siberia]. In: Titlianova A.A. *Tekhnogennyye ekosistemy: organizatsiya i funktsionirovanie* [Technogenic ecosystems: structure and functioning]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1985, pp. 38-69.
23. Androkhanov V.A., Kulyapina E.D., Kurachev V.M. *Pochvy tekhnogennykh landshaftov: genezis i evolyutsiya* [Soils of technogenic landscapes: genesis and evolution]. Novosibirsk: SB RAS Publ., 2004. 151 p.
24. Bekarevich N.E., Masyuk N.T., Uzbek M.Kh. *Rekomendatsii po biologicheskoy rekul'tivatsii zemel' v Dnepropetrovskoy oblasti* [Recommendations for biological land restoration in Dnipropetrovsk Oblast]. Dnepropetrovsk: Promin' Publ., 1969. 44 p.

Received: February 03, 2014