

## Особенности восстановления биогеоценозов при зарастании отвалов угольных разрезов Горловского бассейна

© 2022. А. Н. Беспалов, к. б. н., н. с.,

Н. А. Соколова, м. н. с.,

Д. А. Соколов, д. б. н., в. н. с.,

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН,

630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, д. 8/2,

e-mail: A.Bespalov@bk.ru, sokolovdenis@issa-siberia.ru

Проведена комплексная оценка специфики восстановления отвалов Горловского антрацитового месторождения (Новосибирской область), включающая исследование особенностей восстановления почвенного и растительного покрова, почвенных беспозвоночных (жужелиц). Выявлено, что в составе почвенного покрова исследуемых объектов встречаются три типа почв – инициальные, органо-аккумулятивные и дерновые эмбриозёмы. С учётом специфики рельефа поверхности отвалов, а также плотности верхнего слоя почв (0–10 см) количественно оценено почвенно-экологическое состояние ключевых участков. Обнаружено 43 вида жужелиц, принадлежащих к 17 родам. Изучено взаимодействие между компонентами экосистем. С использованием статистических методов показано, что вместе с восстановлением растительных сообществ и формированием почвенного покрова на исследуемых отвалах возрастает количество видов жужелиц. Видовое разнообразие жуков-жужелиц увеличивается сингенетично улучшению почвенно-экологического состояния.

**Ключевые слова:** отвалы угольных разрезов, эмбриозёмы, почвенно-экологическое состояние, мезофауна, жужелицы.

## Specifics of biogeocenoses restoration during overgrowth of coal-mine dumps of the Gorlovsky basin

© 2022. A. N. Bepalov ORCID: 0000-0002-3146-7477

N. A. Sokolova ORCID: 0000-0002-8927-4280

D. A. Sokolov ORCID: 0000-0002-7859-7244

The Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS

(of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences),

8/2, Lavrentieva Avenue, Novosibirsk, Russia, 630090,

e-mail: A.Bespalov@bk.ru, sokolovdenis@issa-siberia.ru

Due to the increasing volume of anthracite production in the Novosibirsk region, the area of disturbed territories is also increasing. In this regard, the problem of restoring ecosystems on dumps is acute. The vast majority of research on the restoration of man-made ecosystems is aimed at studying any one of their components. The purpose of this work was a comprehensive assessment of the specifics of recovery of waste dumps of the Gorlovsky anthracite deposit (Novosibirsk region). It included a study of the development of soil and vegetation cover, as well as an assessment of the biodiversity of soil invertebrates (for example, ground beetles). It was revealed that three types of soil are formed in the composition of the soil cover of the studied objects – initial, organo-accumulative and turf embryozems. The soil-ecological condition of sample areas was evaluated quantitatively in bonus points, taking into account the topography of the dumps (leveled and hilly areas), the density of the top layer of soil (0–10 cm), and the stage of evolution of young soils. It is shown that the succession of vegetation cover proceeds in the direction from pioneer groups to closed phytocenoses simultaneously with the development of young soils. The population of ground beetles was studied. 43 species belonging to 17 genera were found. The interaction between ecosystem components is studied. Using statistical methods, it is shown that along with the restoration of plant communities and the formation of soil cover on the studied dumps, both the number of species of ground beetles and the indices of diversity increase. Species are replaced by specialized ones, and the number of dominants increases. The species diversity of ground beetles increases syngenetically to the improvement of the soil-ecological condition.

**Keywords:** coal-mine dumps, embryozems, soil-ecological condition, mesofauna, Carabidae.

Горловский угольный бассейн расположен на правобережье Оби в административных границах Новосибирской области. Угли бассейна представлены антрацитами [1]. За последнее десятилетие объёмы добычи угля в бассейне увеличились многократно, что способствовало значительному расширению площадей нарушенных территорий. Исследованию возможностей восстановления техногенных ландшафтов как в России, так и за рубежом в последнее время уделяется большое внимание. На угольных отвалах изучались: почвенный покров [2], процессы почвообразования [3], растительный покров [4] и различные группы почвенных организмов [5–8]. В то же время существующих работ явно недостаточно для понимания полной картины функционирования и восстановления техногенных ландшафтов.

Цель нашего исследования заключалась в изучении взаимосвязей между почвенными беспозвоночными, а именно жужелицами, почвой и растительностью на отвалах антрацитового месторождения.

### Материалы и методики исследования

Исследования проводили на 25-летних отвалах Горловского угольного бассейна в Искитимском районе Новосибирской области. Было выбрано 8 учётных площадок: 5 травянистых участков (3 мезофитных луга и 2 участка с пионерной растительностью) и 3 – с древесной растительностью (заросли кустарников, берёзовый колок и тополиная роща).

Жужелиц собирали в мае – июле 2017 г. с помощью почвенных ловушек диаметром 65 мм и объёмом 200 мл, заполненных на одну треть 4% раствором уксусной кислоты. На каждом участке было установлено по 5 ловушек, проверялись они раз в неделю. Было отработано около 1300 ловушко-суток.

Кластерный анализ, статистическую обработку данных проводили в программе PAST 3.09. К видам доминантного комплекса отнесены виды, доля которых в учётах не ниже 5%. В анализе видового богатства использовали индекс разнообразия Маргалефа, степень доминирования оценивали по индексу Бергера-Паркера, сложность структуры сообщества жужелиц – по индексу биоразнообразия Шеннона [9]. Экологические группы жужелиц по биотопической приуроченности определены на основе литературных источников [6, 10] и собственных наблюдений.

Почвенно-экологическое состояние исследованных участков оценивали в баллах, отражающих специфику рельефа поверхности, плотности верхнего слоя почвы, соотношения типов эмбриозёмов, сформированных на поверхности. Для оценки соотношения типов молодых почв выбирали площадки  $10 \times 10$  м; долю участия каждого типа эмбриозёма в почвенном покрове определяли методом квадратов [11]. Выраженность рельефа определяли при помощи мерной ленты. Ленту прокладывали на поверхности участка, а затем натягивали над поверхностью. Выраженность рельефа вычисляли по формуле:

$$R = L_n/L_0, \quad (1)$$

где  $L_n$  – длина ленты на поверхности;  $L_0$  – длина натянутой ленты. Плотность верхнего слоя (0–10 см) эмбриозёмов измеряли пелетрометром и пересчитывали показания на объёмный вес почв ( $d_v$ ).

Диагностику почв осуществляли с использованием классификации почв техногенных ландшафтов, разработанной сотрудниками ИПА СО РАН [2]. Типы почв, сформированных на поверхности отвала, составляют эволюционный ряд от инициальных до дерновых эмбриозёмов. Предложено считать балл почвенно-экологического состояния (ПЭС) участков, занятых инициальными эмбриозёмами, за 0; органо-аккумулятивными – за 33; дерновыми – за 66; естественных прилегающих участков – за 100 [12]. Средневзвешенный балл почвенно-экологического состояния вычисляли, исходя из соотношения типов эмбриозёмов на участке, а также значений выраженности рельефа и плотности сложения верхнего слоя. Для этого использовали формулу:

$$ПЭС = (B_{э_1} \cdot R \cdot S_1)/d_{v_1} + (B_{э_2} \cdot R \cdot S_2)/d_{v_2} + \dots + (B_{э_n} \cdot R \cdot S_n)/d_{v_n}, \quad (2)$$

где ПЭС – балл почвенно-экологического состояния учётного участка;  $B_{э_1} \dots B_{э_n}$  – бонитет типа эмбриозёма;  $R$  – выраженность рельефа на участке;  $S_1 \dots S_n$  – площадь типа эмбриозёма, в долях от общей площади участка;  $d_{v_1} \dots d_{v_n}$  – плотность сложения верхнего слоя соответствующего типа эмбриозёмов.

### Результаты и обсуждение

**Почвы и растительность.** Исследования показали, что на поверхности отвала форми-

руются эмбриозёмы трёх типов: инициальные, органо-аккумулятивные и дерновые. Формирование биоценозов сопряжено с этапами развития почв. На начальном этапе формирования биоценоза основу растительности составляют пионерные виды, их проективное покрытие менее 10%, поступление органического вещества в почву незначительно. Для этой стадии характерно развитие *инициальных эмбриозёмов (IE)*, не имеющих в профиле выраженного органогенного горизонта. Типодиагностическим в *органо-аккумулятивных эмбриозёмах (OAE)* является горизонт накопления подстилки, представленной слабо-разложившимся растительным опадом. Для *дерновых эмбриозёмов (TE)* типодиагностическим является дерновый горизонт [3].

Субстраты, слагающие отвал, представлены смесью различных по размеру обломков плотных осадочных пород (аргиллитов, алевролитов и песчаников). Все исследуемые участки делятся на спланированные (выровненные) (IN3, IN5, ML4, ML6, K1) и неспланированные (OT8, ZK7, ML2). Описания участков приведены в таблице 1.

Таким образом, ключевые участки по степени развития растительности и почвенного покрова выстраиваются в следующий ряд (расшифровка обозначений в таблице 1): IN3 – IN5 – OT8 – ML4 – ML6 – ZK7 – K1 – ML2.

Баллы почвенно-экологического состояния (ПЭС) на ключевых участках сбора жу-желиц приведены в таблице 2. При анализе таблицы прослеживается чёткая тенденция к увеличению баллов ПЭС вместе со сменой стадий эволюции почвенно-растительного покрова.

**Мезофауна (жу-желицы).** В отличие от почвы и растений животные обладают важным качеством – возможностью передвижения в пространстве и, соответственно, выбора наиболее подходящих для своего существования местообитаний. Жуки являются крупнейшей группой среди насекомых и живых существ в целом. Жу-желицы – одно из самых больших и многочисленных семейств жуков, они являются наиболее информативным объектом для зоодиагностики техногенных местообитаний [13], позволяющих чётко проследить сукцессионные смены и установить их направление.

Таблица 1 / Table 1

Описание ключевых участков исследования  
Description of sample plots of research

Номер участка, обозначение Plot number, designation	Местонахождение Location	Растительность Vegetation cover	Почвенный покров Soil cover
Участок 1 K1	54°33'56,7"N 83°36'12,0"E	Древесная: берёзовый лес; травянистая: мать-и-мачеха, кипрей, донник; напочвенный покров: подстилка	100% OAE
Участок 2 ML2	54°33'55,7"N 83°36'11,8"E	Древесная: отсутствует; травянистая: ежа сборная, ко-стрец; напочвенный покров: ветошь	30% OAE : 70% TE
Участок 3 IN3	54°33'56,2"N 83°36'09,6"E	Древесная: отсутствует; травянистая: донник, полынь, одуванчик; напочвенный покров: отсутствует	100% IE
Участок 4 ML4	54°34'09,9"N 83°36'41,9"E	Древесная: подрост осины и тополя высотой до 1,5 м; травянистая: донник, люцерна; напочвенный покров: фрагментарно ветошь	50% IE : 50% OAE
Участок 5 IN5	54°34'14,7"N 83°36'40,9"E	Древесная: подрост берёзы, тополя и сосны; травянистая: одуванчик, полынь, клевер ползучий; напочвенный покров: фрагментарно ветошь	90% IE : 10% OAE
Участок 6 ML6	54°34'18,8"N 83°36'44,7"E	Древесная: подрост осины, берёзы; травянистая: донник, синяк; напочвенный покров: ветошь	30% IE : 70% OAE
Участок 7 ZK7	54°34'17,8"N 83°36'42,3"E	Древесная: осина, ива козья; травянистая: кипрей, донник, мать-и-мачеха; напочвенный покров: подстилка	20% IE : 80% OAE
Участок 8 OT8	54°34'19,7"N 83°36'36,9"E	Древесная: подрост осины и тополя; травянистая: мать-и-мачеха, одуванчик, мелколепестник, кипрей; напочвенный покров: фрагментарно подстилка	95% IE : 5% OAE

Примечания: IE – эмбриозём инициальный; OAE – эмбриозём органо-аккумулятивный; TE – эмбриозём дерновый.  
Notes: IE – initial embryozem; OAE – organo-accumulative embryozem; TE – turf embryozem.

Таблица 2 / Table 2

Расчёт баллов почвенно-экологического состояния (ПЭС) на ключевых участках  
Calculation of soil-ecological condition (SEC) points of sample areas

Название биотопа Biotope name	Соотношение типов эмбриозёмов Ratio of types of embryozems	Плотность слоя 0–10 см, г/см <sup>3</sup> Layer 0–10 cm density, g/cm <sup>3</sup>	Выраженность рельефа Relief expression	ПЭС, баллы SEC, points
K1	OAE	1,6	1,02	50,20
ML2	0,3 EOA : 0,7 TE	1,4; 1,3	1,1	40,78
IN3	IE	2,2	1,0	28,78
ML4	0,5 IE : 0,5 OAE	2,2; 1,6	1,0	49,83
N5	0,9 IE : 0,1 OAE	2,2; 1,6	1,0	29,95
ML6	0,3 IE : 0,7 OAE	2,2; 1,6	1,0	48,55
ZK7	0,2 IE : 0,8 OAE	1,3; 1,4	1,2	44,08
OT8	0,95 IE : 0,05 OAE	2,2; 1,6	1,1	38,23

Примечания: обозначения, как в таблице 1.  
Notes: designations, as in table 1.

Таблица 3 / Table 3

Параметры таксоценов жуужелиц в разных биотопах  
Parameters of taxocenes of ground beetles in different biotopes

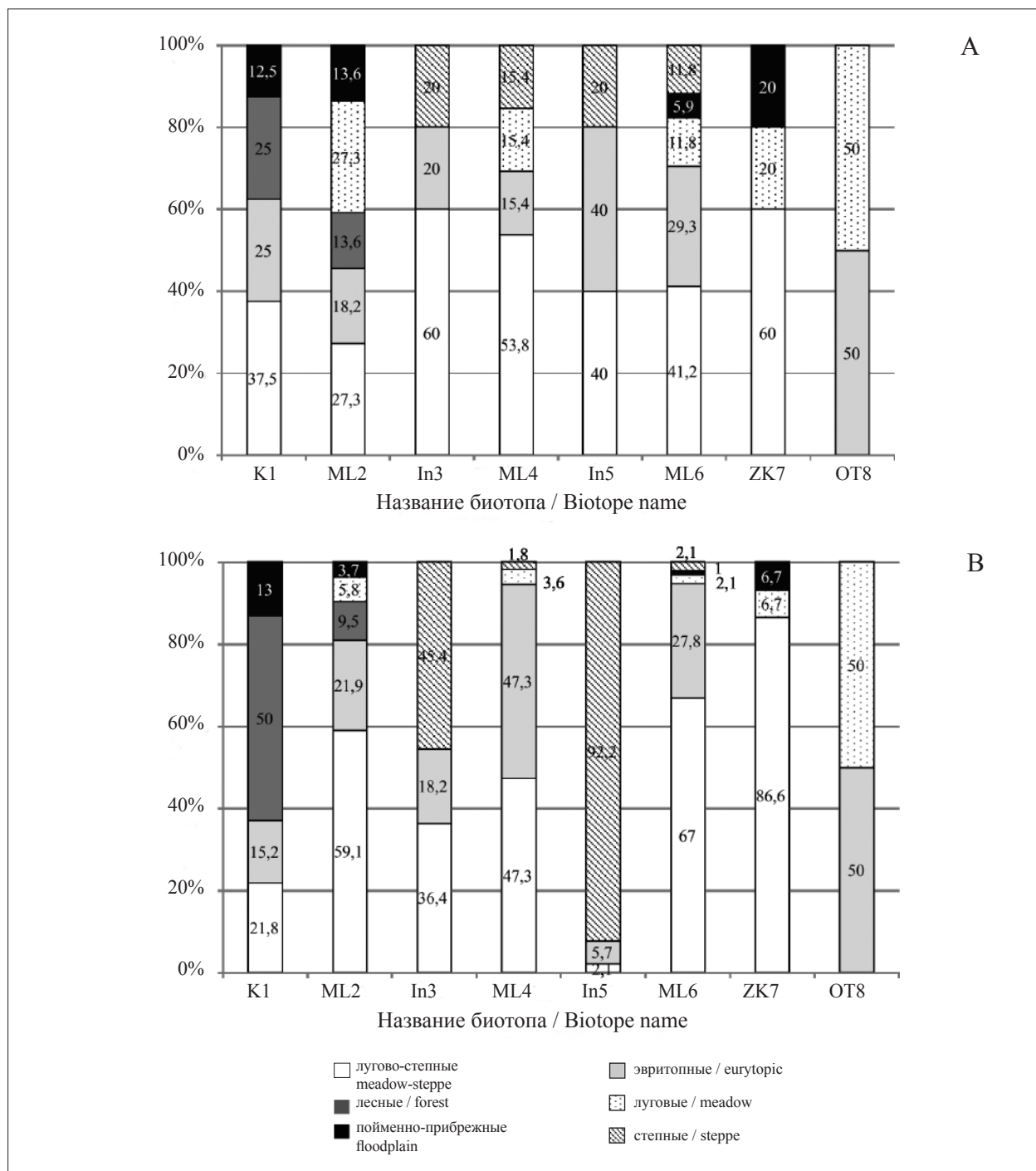
Показатель разнообразия Diversity indicator	Биотопы / Biotopes							
	K1	ML2	IN3	ML4	IN5	ML6	ZK7	OT8
Число видов Number of species	8	22	5	13	5	17	5	2
Средняя динамическая плотность, экз./100 ловушко-суток Average dynamic density, ex./100 trap-days	47	67	6,3	68	125	47	7,9	0,9
Индекс Бергера-Паркера Berger-Parker index	0,48	0,44	0,45	0,45	0,92	0,34	0,73	0,50
Индекс Шеннона H Shannon H index	1,56	2,07	1,41	1,68	0,35	2,04	0,95	0,70
Индекс Маргалефа Margalef index	1,83	4,27	1,67	2,55	0,81	3,52	1,48	1,44

Индекс доминирования Бергера-Паркера почти на всех участках имеет средние значения (табл. 3). Такие его значения показывают, что сообщества жуужелиц на нарушенных территориях характеризуются небольшим количеством доминирующих видов и значительным числом видов с низким обилием. Исключение составил только участок с пионерной растительностью IN5 за счёт супердоминанта *Apristus striatus* и участок с зарослями кустарника ZK7 за счёт доминирования *Harpalus rubripes*.

Наибольшее значение индекса видового богатства Маргалефа отмечено для группы мезофитных лугов (2,55–4,27), что указывает на большее видовое богатство данных сообществ жуужелиц. Наименьшее значение индекса отмечено для группы выровненных площадок с пионерной растительностью (0,81–1,67), что

показывает бедность сообществ жуужелиц на этих участках.

Биотопический спектр жуужелиц сформирован 6 экологическими группами (рис.). В фауне берёзового колка 1 (K1) преобладает лугово-степная группа, на втором месте находятся эвритопная и лесная группа. В населении резко преобладает лесная группа за счёт доминирующего здесь *Pterostichus oblongopunctatus*. В остальных древесных биотопах (тополевая роща и заросли кустарников) такая смена экологических групп не отмечается. Для травянистых участков (ML2, ML4 и ML6) как в фауне, так и в населении, характерно преобладание лугово-степных видов (за счёт доминирующего здесь *Calathus erratus*) с высокой долей эвритопных видов. В фауне открытых площадок (IN3 и IN5) преобладают виды жуужелиц, относящиеся к лугово-



**Рис.** Соотношение экологических групп жуужелиц: А – по числу видов, В – по числу суммарной уловистости. Обозначения биотопов, как в таблице 1  
**Fig.** The ratio of ecological groups of ground beetles: А – by the number of species, В – by the number of total catch. Designations of biotopes, as in table 1

степной группе, но представители эвритопной и степной группы также имеют значительный вес, а в населении преобладают представители степной группы. В целом можно отметить, что для нарушенных участков характерно доминирование лугово-степных видов.

Данные таблицы 4 показывают, что при восстановлении растительных ценозов и почвенного покрова увеличиваются как количе-

ство видов жуужелиц, так и показатели разнообразия. Структура сообществ герпетобионтов усложняется по мере эволюции посттехногенных ландшафтов; виды замещаются более узкоспециализированными; количество доминантных видов увеличивается. В то же время полного восстановления биоценозов до уровня биоразнообразия естественных территорий на данном отвале за 25 лет не происходит.

Таблица 4 / Table 4

Корреляции баллов почвенно-экологического состояния (ПЭС) с показателями биоразнообразия  
Correlation of the SEC (soil-ecologic condition) points with the biodiversity indicators

Показатель биоразнообразия Biodiversity indicator	Корреляция с баллами ПЭС Correlation with SEC points
Число видов / Number of species	0,50
Средняя динамическая плотность / Average dynamic density	-0,25
Индекс Бергера-Паркера / The Berger-Parker index	-0,58
Индекс Шеннона / Index Shannon H	0,69
Индекс Маргалефа / Margalef Index	0,55

### Заключение

Проведённые исследования показали, что восстановление всех компонентов экосистем техногенных ландшафтов (растительность, почвы, мезофауна) происходит одновременно. Выявлено, что в составе почвенного покрова исследуемых объектов встречаются три типа почв – инициальные, органо-аккумулятивные и дерновые эмбриозёмы. Неудовлетворительным почвенно-экологическим состоянием характеризуются молодые участки с пионерной растительностью и простейшей структурой сообщества жуков-жужелиц. Хорошим почвенно-экологическим состоянием характеризуются старые участки с травянистой растительностью, где сообщества жужелиц имеют более сложную структуру и максимальное видовое богатство. Таким образом, видовое разнообразие жуков-жужелиц увеличивается сингенетично сукцессии растительных сообществ и улучшению почвенно-экологического состояния. При этом полного восстановления биоценозов до уровня биоразнообразия естественных ландшафтов не происходит даже за 25 лет.

*Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН.*

### References

1. The coal base of Russia. V. 2. Coal basins and deposits of Western Siberia (Kuznetsk, Gorlovsky, West Siberian basins, deposits of the Altai Territory and the Republic of Altai). Moskva: Geoinformtsentr, 2003. 604 p. (in Russian).
2. Androkhanov V.A., Sokolov D.A. Soil evolution and reclamation of technogenic landscapes in Siberia // *Advances in Raw Material Industries for Sustainable Development Goals* / Ed. V. Litvinenko. CRC Press, 2020. P. 268–273. doi: 10.1201/9781003164395-33
3. Sokolov D.A., Androkhanov V.A., Kulizhskii S.P., Loiko S.V., Domozhakova E.A. Morphogenetic diagnostics of soil formation on tailing dumps of coal quarries in Siberia // *Eurasian Soil Science*. 2015. No. 1. P. 95–105. doi: 10.1134/S106422931501015
4. Frouz J., Mudrák O., Reitschmiedová E., Walmsley A., Vachová P., Šimáčková H., Albrechtová J., Moradi J.,

Kučera J. Rough wave-like heaped overburden promotes establishment of woody vegetation while leveling promotes grasses during unassisted post mining site development // *Journal of Environmental Management*. 2018. No. 205. P. 50–58. doi: 10.1016/j.jenvman.2017.09.065

5. Dunger W., Voigtländer K. Soil fauna (Lumbricidae, Collembola, Diplopoda and Chilopoda) as indicators of soil eco-subsystem development in post-mining sites of eastern Germany – a review // *Soil Organisms*. 2009. V. 81. No. 1. P. 1–51.

6. Luzyanin S.L., Dudko R.Yu., Bepalov A.N., Ereemeeva N.I. Biodiversity of carabids (Coleoptera, Carabidae) on coal mining dumps of Kuzbass region, Kemerovskaya oblast', Russia // *Euroasian Entomological Journal*. 2015. V. 14. No. 5. P. 625–628 (in Russian).

7. Artamonova V.S., Bortnikova S.B. About the development of *Azotobacter chroococcum* Beijerinck in old-age dumps of anthracite // *Theoretical and Applied Ecology*. 2018. No. 1. P. 60–72 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2018-1-060-072

8. Moradia J., Vicentinia F., Simackovaa H., Pizlb V., Tajovskyb K., Saryb J., Frouz J. An investigation into the long-term effect of soil transplant in bare spoil heaps on survival and migration of soil meso and macrofauna // *Ecological Engineering*. 2018. No. 110. P. 158–164. doi: 10.1016/j.ecoleng.2017.11.012

9. Megarran E. Ecological diversity and its measurement. Moskva: Mir, 1992. 161 p. (in Russian).

10. Andersen J. Winter quarters of wetland ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in South Scandinavia // *Journal of Insect Conservation*. 2011. V. 15. P. 799–810. doi: 10.1007/s10841-011-9378-7

11. Androkhanov V.A., Kurachev V.M. Soil-ecological state of technogenic landscapes: dynamics and assessment. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2010. 224 p. (in Russian).

12. Gossen I.N., Kulizhskiy S.P., Danilova E.B., Sokolov D.A. A valuation approach to assessing the soil-ecological state of technogenic landscapes of Siberia (on the example of dumps of anthracite, coal and brown coal deposits) // *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016. No. 2. P. 71–82 (in Russian).

13. Koivula M.J. Useful model organisms, indicators, or both? Ground beetles (Coleoptera, Carabidae) reflecting environmental conditions // *ZooKeys*. 2011. No. 100. P. 287–317. doi: 10.3897/zookeys.100.1533