

Научная статья
УДК 574.42+631.48
doi: 10.17223/19988591/65/4

Естественное восстановление растительного и почвенного покрова на отвалах Павловского месторождения в Приморском крае

Ирина Владимировна Киселева¹, Полина Александровна Перепелкина²,
Максим Леонидович Бурдуковский³

*^{1, 2, 3} Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии
ДВО РАН, Владивосток, Россия*

¹ kiseleva-iv@inbox.ru

² polly2004@list.ru

³ burmaxs@inbox.ru

Аннотация. Изучены особенности естественного зарастания и почвообразования на разновозрастных отвалах Павловского угольного месторождения в Приморском крае. Установлены различия в видовом составе и структуре растительных сообществ в зависимости от рельефа, возраста и гранулометрического состава пород отвалов. Выявлены стадии первичной сукцессии на отвалах: пионерная – на вершине и крутых склонах отвалов, простая и сложная – на склонах и у подножия отвалов, замкнутый фитоценоз – на выположенной террасе. Формирование растительности на отвалах, сложенных глинистыми породами, идет по луговому типу. Развитие древесно-кустарниковых видов происходит интенсивнее на отвалах более легкого гранулометрического состава. В первые годы после отсыпки породы непригодны для биологической рекультивации в силу высокой кислотности. По мере зарастания отмечено увеличение органического углерода, основных элементов питания растений и снижение кислотности пород отвалов. Почвенный покров на отвалах представлен различными типами эмбриоземов: инициальными, органо-аккумулятивными, дерновыми и гумусово-аккумулятивными. Основным сдерживающим фактором развития растительности на отвалах в условиях муссонного климата являются процессы водной эрозии. Для предотвращения эрозионных процессов необходимо проведение террасирования на отвалах. При рекультивации глинистых отвалов рекомендуется нанесение плодородного слоя после их планировки.

Ключевые слова: отвалы, фитомасса, мортмасса, синузия, сукцессия, эмбриоземы (Spolic Technosols), органический углерод, кислотность почв, рекультивация

Источник финансирования: работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 124012400285-7).

Для цитирования: Киселева И.В., Перепелкина П.А., Бурдуковский М.Л. Естественное восстановление растительного и почвенного покрова на отвалах Павловского месторождения в Приморском крае // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2024. № 65. С. 71–91. doi: 10.17223/19988591/65/4

Natural reclamation of the vegetation and soil cover at the dumps of the Pavlovsk coal field of Primorskiy krai

Irina V. Kiseleva¹, Polina A. Perepelkina², Maxim L. Burdukovsky³

^{1, 2, 3} Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity,
Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

¹ kiseleva-iv@inbox.ru

² polly2004@list.ru

³ burmaxs@inbox.ru

Summary. Surface mining operations are accompanied by serious disturbance of natural ecosystems. The rationale for a reclamation method is based on both agrochemical and biological properties of the dumped rocks. For this reason, the investigation of primary succession and soil-formation processes at the dumps gains significant importance. The article is aimed to examine the characteristics of natural reclamation of the soil and vegetation cover in the dumps of the Pavlovsk coal field, which are different in composition and relief, and establish the relevance of the dump rocks for biological reclamation.

The investigations were carried out on the territory of the Pavlovsk coal mine (Mikhailovsky district, Primorskiy Krai). At the North Depression section (44°05'39.5"N 132°04'47.3"E), two dumps were investigated – the 8-year-old dump is characterized by the conical form, with the slope of 25° (See Fig. 1A), while the 15-year-old dump has a terrace in the middle section of the slope (See Fig. 1B). These dumps are formed by loamy rocks, with the ratio of its slopes being 12-15°. At the East Depression section (44°05'24.3"N 132°05'08.9"E), the 16-year dump with smoother slopes (up to 12°) formed by clay was investigated. To examine the characteristics of colonization by vegetation, the line transects were formed from the bases of dumps to their tops. The stages of succession of plants were identified according to Voronov (1973). The organic carbon (Corg.) was determined using the Tyurin method. The granulometric composition of rocks was determined according to Kachinsky. The content of active (mobile) forms of phosphorus and potassium was determined using the methods by Kirsanov and Maslova, respectively. The current and exchangeable acidities of soils were examined using potentiometry. The classification of soils of the technogenic landscapes by Kurachev (2002) and WRB (2022) was used.

As part of this study, we revealed fragmentary vegetation cover at the 8-year-old dump of the North Depression section. Within the limits of the built transect, 11 species of plants belonging to 8 families were detected. The dump slopes were subjected to water erosion. The rocks of dump had $pH_{H_2O} = 4.3-4.4$, low content of active forms of phosphorus and potassium (See Table 3). Pedogenic accumulation of Corg. was not observed at this dump. The development of the vegetation cover was at the pioneer stage. The Initial Embryozems (Spolic Technosols (Loamic)) were formed.

On the 15-year dump, 31 species of plants belonging to 12 families were detected. In the eluvial position, a minimum number of plant species were found (See Table 2). The rocks were weakly affected by the soil formation processes, had $pH_{H_2O} = 4.7$, low content of phosphorus and high of potassium, while that of carbon reached 2.5% at the expense of carbon-bearing inclusions (See Table 3). The development of vegetation cover was at the pioneer stage on the Initial Embryozems (Spolic Technosols (Loamic)). In the transit positions of the dump, the complex plant cluster (with large

phytomass reserves) was formed. The active colonization by vegetation resulted in formation of sod horizon with the content of Corg. up to 1.1%, where the Sod Embryozems (Spolic Technosols (Suprafolic, Loamic)) were formed. The environment reaction of the upper horizons changed toward neutral ($pH_{H_2O} = 6.2$). The content of active phosphorus was low, while that of active potassium was abundant. The role of woody vegetation increased in the accumulative position (terrace). This is a stage of closed phytocenosis with active soil-forming processes. Soils had $pH_{H_2O} = 6.3$ in the 0-5 cm layer, while the content of Corg. increased to 3.35%, and those of phosphorus and potassium reached high and very high values, respectively. The Humus-accumulative Embryozems (Spolic Technosols (Humic, Loamic)) were formed.

At the 16-year-old clayey dump of the East section, the vegetation cover is very heterogeneous due to active erosion. In such areas, the vegetation cover development was at the pioneer stage and the soil cover was at the initial stage (Spolic Technosols (Clayic)). At the most overgrown sections of dump, the projective cover reached 80% (See Fig. 2). Within the limits of the built transect, 23 species of vascular plants were found (See Table 4). This is a stage of complex plant cluster, when the litter horizon and Organic-accumulative Embryozemes (Spolic Technosols (Protofolic, Clayic)) were formed on soil surface. The rocks of dump had $pH_{H_2O} = 5.9-6.3$, low content of Corg. very low of phosphorus, and very high of potassium.

In this study, we found that the families of Asteraceae and Poaceae were the most abundant in the projective cover and number of species at the investigated dumps. The highest Jaccard similarity coefficient of vegetation species composition was relevant for older dumps. During the first ten years, the dumps of loamy composition, with slope of 25° , were scarcely colonized by vegetation due to strong erosion processes. The vegetation cover development was at the pioneer stage and the soil cover was at the initial stage (Spolic Technosols (Loamic)). With more favorable relief features, the full tree layer was already formed by the 15th year after dumping and Humus-accumulative Embryozems (Spolic Technosols (Humic, Loamic)) were developed. At the same time, Sod Embryozems (Spolic Technosols (Suprafolic, Loamic)) were formed on the slopes. The development of vegetation at the clayey 16-year-old dump remained at the stage of complex plant clusters. On this dump Organic-accumulative Embryozemes (Spolic Technosols (Protofolic, Clayic)) were formed.

The phytocenoses in the clayey dumps of the East section were formed in the meadow type. At the dumps formed by lighter rocks, the survival ability of woody species of plants was higher. One of the basic constraining factors of developing the stable phytocenoses at the dumps was the processes of water erosion. It was found that in the early years after dumping, the rocks of dumps were hardly suitable for biological recultivation due to their high acidity.

The paper contains 2 Figures, 4 Tables, and 31 References.

Keywords: dumps, phytomass, mortmass, synusia, succession, embryozems (Spolic Technosols), organic carbon, soil acidity, reclamation

Funding: The research was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. 124012400285-7).

For citation: Kiseleva IV, Perepelkina PA, Burdukovsky ML. Natural reclamation of the vegetation and soil cover on the dumps of the Pavlovsk coal field of Primorye. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2024;65:71-91. doi: 10.17223/19988591/65/4

Введение

Добыча полезных ископаемых открытым способом сопровождается серьезным нарушением природных экосистем. В результате на дневную поверхность выносятся глубинные породы различного состава, занимающие обширные площади. Отвод новых земель под разработку месторождений производится, как правило, после осуществления рекультивации ранее отведенных земельных участков, в которых миновала надобность. Обоснование способа рекультивации выполняется на основании совокупности агрохимических и биологических свойств пород отвалов. Своеобразным индикатором пригодности пород для биологической рекультивации может служить их способность к естественному зарастанию травянистой растительностью. В связи с этим к вопросу формирования фитоценозов на нарушенных землях на протяжении многих лет проявляют интерес российские и зарубежные ученые. Большое количество работ посвящено исследованию динамики растительного покрова в карьерно-отвальных ландшафтах [1–5]. В работах выделены стадии сукцессии, установлены темпы зарастания нарушенных земель, выявлены доминирующие виды для каждой стадии самозарастания. Подробный флористический анализ растительного покрова в техногенных ландшафтах приведен в работах [1, 6, 7]. Детальный анализ мировых подходов к изучению процессов почвообразования в техногенных ландшафтах представлен в обзорной статье D.A. Sokolov et al. [8]. В большинстве работ авторы указывают на необходимость проведения биологической рекультивации для ускорения формирования стабильных фитоценозов на отвалах.

Для территории Дальнего Востока проведен подробный обзор литературы по вопросам изучения процессов восстановления растительного покрова в горнопромышленных ландшафтах [9]. Стадийность формирования фитоценозов на разновозрастных отвалах рассмотрена в работах [10–12]. Видовой состав и структура растительного покрова с выделением сукцессионных серий детально исследованы Е.В. Ивакиной и др. [13], С.В. Осиповым и др. [14]. Изучению почв техногенных ландшафтов и решению вопросов рекультивации в районах добычи полезных ископаемых посвящены работы Н.М. Костенкова и др. [15] и многих других.

На территории Павловского месторождения в 2020 г. началась разработка технического проекта по ликвидации опасного производственного объекта разреза Северная депрессия. В дальнейшем подобные работы будут проведены и на других участках месторождения. В связи с этим исследования первичной сукцессии и процессов почвообразования на разновозрастных отвалах приобретают важное значение, а полученные результаты могут быть использованы при разработке проекта рекультивации в каждом конкретном случае. При этом одним из важнейших показателей восстановленных почвенно-экологических функций в техногенном ландшафте служит образование гумусово-аккумулятивного горизонта в почве.

Цель данной работы – изучить особенности естественного восстановления растительного и почвенного покрова на различных по составу и рельефу отвалах Павловского месторождения и установить пригодность пород отвалов для биологической рекультивации.

Объекты и методы

Исследования проведены на территории Павловского месторождения, расположенного на территории Михайловского района Приморского края в 30 км к северу от г. Уссурийска.

Изученная территория располагается в Амуро-Уссурийском климатическом районе, Тихоокеанской области, умеренной зоне с хорошо выраженными чертами муссонного климата Восточной Азии [16]. Сумма активных температур достигает 2 500°C, осадков выпадает 550–600 мм в год [17]. Согласно схеме ботанико-географической зональности, Павловское бурое угольное месторождение находится в лесостепной зоне [18]. В настоящее время на обработанных территориях месторождения идут процессы естественного восстановления растительного покрова, часть территории занимают широколиственные насаждения в окружении сельскохозяйственных полей, массивов дубовых лесов и вейниково-разнотравных лугов.

Объектом исследований послужили отвалы участка Северная депрессия (44°05'39.5"N 132°04'47.3"E) и участка Восточный (44°05'24.3"N 132°05'08.9"E) (рис. 1) и формирующийся на них почвенно-растительный покров. Возраст отвалов определяли по техническим и маркшейдерским схемам.

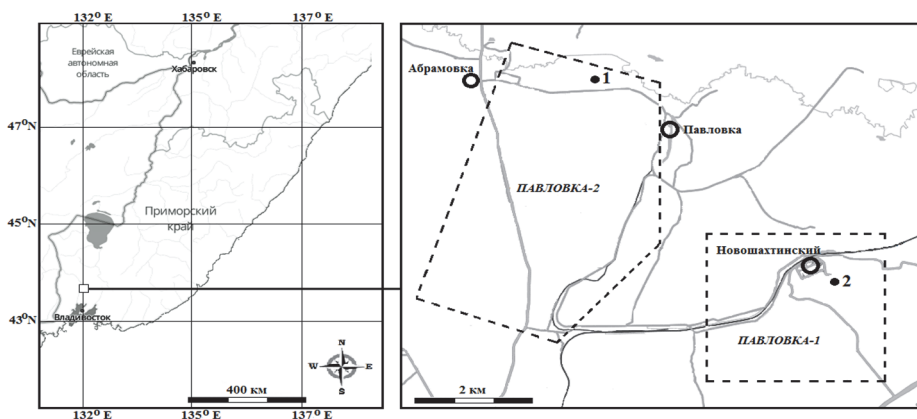


Рис. 1. Карта-схема района исследований: 1 – участок Северная депрессия; 2 – участок Восточный

[Fig. 1. Schematic map of the study area: 1. Northern Depression section, 2. Eastern section]

На участке Северная депрессия исследованы два отвала, имеющие различный возраст и рельеф. Отвал 8-летнего возраста имеет коническую форму. Крутизна склонов ~25°. В рельефе 15-летнего отвала отмечается терраса (уклон 1–2°) в средней части склона, что связано с особенностями его отсыпки. Крутизна склонов отвала составляет 12–15°. Отвалы сложены породами легкого гранулометрического состава – легкими суглинками с преобладанием песчаной фракции (содержание физической глины 25,2–30,0%).

На участке Восточный исследован отвал, отсыпанный 16 лет назад, имеющий вытянутую в длину форму и более пологие склоны (до 12°). Породы,

слагающие изученный отвал, представлены рыхлыми покровными отложениями преимущественно глинистого состава (содержание физической глины 50,0–54,3%).

Для исследования особенностей зарастания заложены линейные трансекты от подножия отвалов до вершины. Место расположения трансекты выбрано с учетом ее максимального охвата типичных растительных микрогруппировок и травяных синузий на отвале. Описание растительности произведено вдоль трансекты на площадках 5×5 м в двукратной повторности в каждом типе микрогруппировки или синузии в наиболее однородном участке по стандартным геоботаническим методикам [19]. В случае недостаточного размера синузии размер площадки был уменьшен до 3×3 м. Всего выполнено 30 геоботанических описаний. На площадках учитывали полный видовой состав и проективное покрытие видов растений в процентах в различных растительных синузиях и микрогруппировках. По положению в рельефе выделены три позиции: на вершине отвала – элювиальная (Эль), на склоне – транзитная (Транс) и у подножия либо на террасе – аккумулятивная (Ак). Определение таксономической принадлежности растений произведено по определителю растений Приморья и Приамурья [20]. Авторы таксонов приведены в табл. 2, 4. Стадии сукцессии растительных группировок выделялись на основании классификации, разработанной А.Г. Вороновым [21]. Учет надземной фитомассы проводился методом укусов на площадках 1 м² в трехкратной повторности. В структуре надземной фитомассы рассматривается живая фитомасса и мортмасса. Мортмасса – отмершие растительные остатки, в нее входят подстилка, ветошь трав, опад листьев. Фитомасса взвешивалась в свежесрезанном состоянии в полевых условиях.

Определение органического углерода (Сорг.) проводилось по методу И.В. Тюрина. Гранулометрический состав пород отвалов определялся по Н.А. Качинскому. Содержание подвижных форм фосфора – по Кирсанову, калия – по Масловой [22]. Актуальная и обменная кислотность почв исследовалась потенциометрически, гидролитическая кислотность – по Каппену [23]. В работе использовалась классификация почв техногенных ландшафтов, предложенная В.М. Курачевым, В.А. Андрохановым [24], и международная классификация (WRB) [25].

Для определения бета-разнообразия использовался коэффициент Жаккара (коэффициент флористического сходства), который вычисляется по формуле

$$K = \frac{c}{(a + b - c)},$$

где K – коэффициент флористического сходства Жаккара; c – число общих видов в сравниваемых сообществах; a – число видов в первом сообществе; b – число видов во втором сообществе [26].

Статистическая обработка полученных результатов проводилась в программе Microsoft Excel.

Результаты исследования

На исследованных разновозрастных отвалах Павловского месторождения, в пределах заложенных трансект отмечено 43 вида сосудистых растений из 18 семейств. Наибольшим количеством видов представлены семейства Asteraceae – 13 видов, Poaceae – 6, Fabaceae – 5, Salicaceae – 4, Rosaceae – 2, остальные семейства – по 1 виду.

В растительном покрове зарастающих отвалов явно преобладали многолетние травы (29 видов). Однолетние растения представлены 4 видами травянистых растений и 1 травянистой лианой, деревья – 7 видами, кустарники – 2 видами. Участие в самозарастании древесных и кустарниковых жизненных форм отмечено на отвалах более зрелого возраста (табл. 1).

Таблица 1 [Table 1]

Основные жизненные формы сосудистых растений в растительном покрове самозарастающих отвалов Павловского месторождения

[The main life forms of vascular plants in the vegetation cover of self-overgrown dumps of the Pavlovsky coal deposit]

Названия жизненных форм (ж.ф.) [Names of life forms (l.f.)]	Общее число видов ж.ф., % [Total number of species l.f., %]	Число видов ж.ф. (%) на отвалах участка Северная депрессия [Number of species l.f. (%) on the dumps of the Northern Depression section]		Число видов ж.ф. (%) на отвалах участка Восточный [Number of species l.f. (%) on the dumps of the East section]
		8-летний отвал [8-year-old dump]	15-летний отвал [15-year-old dump]	16-летний отвал [16-year-old dump]
Деревья [Trees]	7 (16,2%)	0	4 (12,9%)	4 (18,2%)
Кустарники [Shrubs]	2 (4,6%)	0	2 (6,4%)	1 (4,5%)
Травянистые лианы [Grass lians]	2 (4,6%)	1 (9,1%)	1 (3,2%)	0
Многолетние травы [Perennial grasses]	28 (65,1%)	9 (81,8%)	23 (74,2%)	14 (63,6%)
Одно-, двулетние травы [One-, two-year-old grasses]	4 (9,3%)	1 (9,1%)	1 (3,2%)	3 (13,6%)
Итого [Total]	43	11	31	22

Вегетативно-подвижные в разной степени формы трав преобладали во флоре зарастающих отвалов. Из корневищных наиболее продуктивно осваивали грунт на породных отвалах *Equisetum arvense*, *Artemisia argyi*, *Miscanthus sacchariflorus*. Не менее успешно процесс освоения минерализованных участков осуществлялся и корнеотпрысковыми видами: *Cirsium setosum*, *Sonchus arvensis*.

Растительный покров на 8-летнем отвале участка Северная депрессия (рис. 2, а) фрагментарный, травянистый. Склоны отвала подвержены водной эрозии. Всего в пределах заложенной трансекты обнаружено 11 видов сосу-

дистых растений, относящихся к 8 семействам. В зарастании активно участвовали сорно-рудеральные виды, на долю которых приходилось 45% всего видового состава растительности. Наиболее заметную роль среди них играли *Equisetum arvense* и *Sonchus arvensis* (табл. 2). Запасы надземной фитомассы на разных элементах рельефа варьировались от 13 до 620 г/м², мортмасса практически не накапливалась.

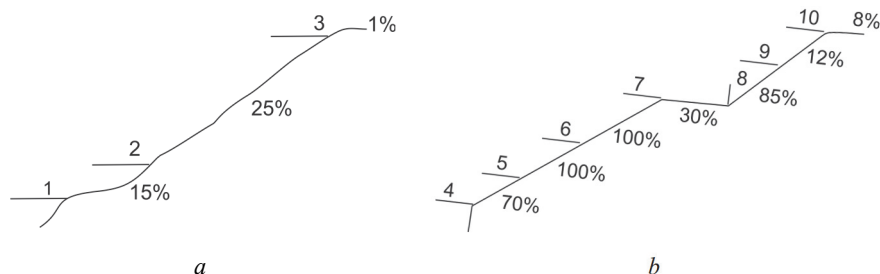


Рис. 2. Схема расположения трансект на отвалах участка Северная депрессия:
а – 8-летний отвал; б – 15-летний отвал.

Цифрами указаны номера площадок;

в процентах (%) – общее проективное покрытие травяного покрова

[Fig. 2. Scheme of the location of transects on the dumps of the Northern Depression section:

a - 8-year-old dump; b - 15-year-old dump.

Numerals with site numbers; in percent (%) - total projective cover of grass]

Таблица 2 [Table 2]

Список видов сосудистых растений и их проективное покрытие (%)

на отвалах участка Северная депрессия

[List of vascular plant species involved and their projective cover (%)
on the dumps of the Northern Depression section]

Название видов растений [Species]	Номер учетной площадки [Site number]									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Деревья (проективное покрытие крон, %) [Trees (projective crown cover, %)]									
<i>Populus tremula</i> L.	–	–	–	0,1	0,1	0,5	50	20	0,3	–
<i>Salix pierotii</i> Miq.	–	–	–	–	–	–	5	0,1	–	–
<i>Ulmus pumila</i> L.	–	–	–	–	–	–	–	–	0,1	–
<i>Malus manshurica</i> (Maxim.) Kom	–	–	–	–	–	–	0,1	0,1	–	–
Кустарники [Shrubs]										
<i>Salix schwerinii</i> E. Wolf	–	–	–	–	–	3	25	3	0,1	0,3
<i>Spiraea salicifolia</i> L.	–	–	–	–	–	–	0,1	0,1	0,1	0,1
Травянистые лианы [Grass lians]										
<i>Chylocalyx perfoliatus</i> (L.) Hassk. Ex Miq	0,1	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Calystegia inflata</i>	–	–	–	25	0,5	0,1	–	–	1	–
Травы [Grasses]										
<i>Commelina communis</i> L.	0,1	5	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Stellaria radians</i> L.	0,1	–	–	–	0,1	0,1	0,1	0,2	1	0,1
<i>Chamerion angustifolium</i> (L.) Holub	–	–	0,1	–	–	–	–	–	–	–

Название видов растений [Species]	Номер учетной площадки [Site number]									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Деревья (проективное покрытие крон, %) [Trees (projective crown cover, %)]									
<i>Calamagrostis langsdorffii</i> (Link) Trin.	0,5	0,1	0,2	–	–	–	12	0,1	–	–
<i>Equisetum arvense</i> L.	2	20	0,1	30	60	10	5	25	10	3
<i>Miscanthus sacchariflorus</i> (Maxim.) Benth.	0,5	–	–	–	0,1	30	–	0,2	0,1	5
<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth	5	–	–	–	0,5	1	1	–	–	–
<i>Carex pallid</i> C.A. Mey.	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Sonchus arvensis</i> L.	5	–	–	0,1	0,1	0,1	–	–	0,1	0,1
<i>Artemisia rubripes</i> Nakai	1	5	0,5	3	10	20	–	10	0,1	–
<i>Phleum pratense</i> L.	–	–	–	–	–	–	0,5	–	–	–
<i>Vicia cracca</i> L.	–	–	–	0,2	1	0,1	0,1	0,2	–	–
<i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski	–	–	–	–	–	–	2	3	–	–
<i>Neomolinia mandshurica</i> (Maxim.) Honda	–	–	–	–	–	–	–	0,1	–	–
<i>Achillea millefolium</i> L.	–	–	–	–	–	–	0,2	0,1	–	–
<i>Cirsium arvense</i> L. Scop.	–	–	–	–	–	0,1	0,1	–	0,1	0,1
<i>Aster tataricus</i> L. fil.	–	–	–	–	–	–	–	0,1	–	–
<i>Lathyrus humilis</i> (Ser.) Spreng.	–	–	–	0,1	0,1	0,1	0,1	–	–	0,1
<i>Trifolium repens</i> L.	–	–	–	4	5	0,1	–	0,1	–	0,1
<i>Asparagus schoberioides</i> Kunth	–	–	–	0,1	0,1	0,1	–	–	–	–
<i>Artemisia argyi</i> Levl et Vaniot	–	–	–	7	20	40	5	20	0,2	0,1
<i>Taraxacum officinale</i> Wigg.	–	–	–	0,1	0,1	–	0,1	0,1	–	–
<i>Trifolium campestre</i> Schreb.	–	–	–	0,2	0,1	–	–	–	–	0,1
<i>Lycopus lucidus</i> Turcz. Ex Benth.	–	–	–	0,1	–	0,2	0,2	0,1	0,1	–
<i>Saussurea pulchella</i> (Fisch.) Fisch.	–	–	–	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	–	0,1
<i>Geranium eriostemon</i> Fisch.	–	–	–	0,1	–	–	0,1	–	–	–
<i>Synurus deltoides</i> (Ait.) Nakai	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,1
Кол-во видов на пробной площадке [Total number of species in the site]	10	4	4	15	16	17	23	17	13	13

Примечание. «–» – вид отсутствует.

[Note. "–" - species is missing].

В целом, на 8-летнем отвале происходило развитие пионерных растительных группировок. Групповой характер размещения растений характерен только для аккумулятивной позиции отвала с простой растительной группировкой. Педогенные процессы развиты слабо, формирование каких-либо органо-генных горизонтов не происходит. Формирующиеся на этом отвале эмбриоземы относятся к инициальным (Spolic Technosols (Loamic). Они характеризовались кислой реакцией среды, низким содержанием подвижных форм калия и фосфора и крайне бедны органическим веществом (табл. 3).

На 15-летнем отвале участка Северная депрессия (рис. 2, б), в пределах заложенной трансекты, обнаружен 31 вид растений, относящихся к 12 семействам. В элювиальной позиции (пл. 10) отмечено наименьшее количество видов, растительность представлена в основном *Miscanthus sacchariflorus* и *Equisetum arvense*. Единично встречался подрост *Salix sp.* до 2 м высотой. Общее проективное покрытие не превышало 10%. Запасы надземной фитомассы составляли 145 г/м², мортмассы – 83 г/м².

Таблица 3 [Table 3]

Основные физико-химические свойства эмбриоземов
[Physical and chemical properties of Embriozems (Spolic Technosols)]

Возраст от- вала, лет (позиция) [Age of dump, years (relief position)]	Глу- бина, см [Depth, cm]	Физиче- ская глина, % [Physical clay, %]	рН		Нг, смоль (экв)/кг [Ac _{tot} , cmol(equiv) /kg]	Сорг., % [Corg, %]	P ₂ O ₅	K ₂ O
			Водный [H ₂ O]	Соле- вой [KCl]			мг/100 г [mg/100 g]	
Участок Северная депрессия, эмбриоземы инициальные [Northern Depression section , Spolic Technosols (Loamic)]								
8 (Эль, Транс, Ак) [El, Trans, Ac]	0–5	25,8 ± 0,30	4,3 ± 0,30	3,4 ± 0,07	8,4 ± 0,51	0,51 ± 0,03	2,6 ± 0,16	5,7 ± 0,24
	5–20		4,4 ± 0,09	3,4 ± 0,04	8,8 ± 0,31	0,54 ± 0,04	2,0 ± 0,14	5,2 ± 0,20
	20–50		4,3 ± 0,13	3,3 ± 0,02	5,9 ± 0,32	0,43 ± 0,12	1,9 ± 0,21	5,1 ± 0,18
15 (Эль) [El]	0–5	25,2 ±\n0,1	4,7 ± 0,11	3,3 ± 0,10	14,3 ± 0,56	2,50 ± 0,31	1,0 ± 0,09	21,4 ± 1,20
Участок Северная депрессия, эмбриоземы гумусово-аккумулятивные [Northern Depression section , Spolic Technosols (Humic, Loamic)]								
15 (Ак) [Ac]	0–5	31,5 ± 0,60	6,6 ± 0,05	6,0 ± 0,05	3,7 ± 0,21	3,35 ± 0,08	7,5 ± 0,30	48,3 ± 0,60
	5–20	25,6 ±	5,6 ± 0,05	4,1 ± 0,18	6,4 ± 0,81	1,10 ± 0,06	3,0 ± 0,30	43,1 ± 0,60
	20–50	0,80	5,6 ± 0,23	3,9 ± 0,19	4,1 ± 0,82	0,54 ± 0,20	1,5 ± 0,36	10,1 ± 2,60
Участок Северная депрессия, эмбриоземы дерновые [Northern Depression section, Spolic Technosols (Suprafolic, Loamic)]								
15 (Транс) [Trans]	0–5	46,6 ± 0,71	6,2 ± 0,11	5,1 ± 0,14	2,3 ± 0,37	1,11 ± 0,06	2,0 ± 0,07	66,3 ± 1,12
	5–20	25,2 ±	5,2 ± 0,40	3,7 ± 0,20	5,0 ± 2,50	0,10 ± 0,03	0,70 ± 0,00	19,3 ± 12,10
	20–50	0,41	5,8 ± 0,20	4,2 ± 0,16	2,1 ± 0,40	< 0,10	0,80 ± 0,10	8,0 ± 2,70
Участок Восточный, эмбриоземы органо-аккумулятивные [East section, Spolic Technosols (Protofolic, Clayic)]								
16 (Эль, Транс, Ак) [El, Trans, Ac]	0–5	54,3 ± 2,5	6,3 ± 0,05	5,3 ± 0,15	1,5 ± 0,50	0,42 ± 0,11	0,18 ± 0,05	28,1 ± 1,75
	5–20		5,9 ± 0,11	4,3 ± 0,08	2,3 ± 0,60	0,13 ± 0,01	< 0,10	11,4 ± 2,30
	20–50		6,0 ± 0,11	4,0 ± 0,21	2,9 ± 0,10	< 0,10	< 0,10	7,7 ± 2,75
Участок Восточный, эмбриоземы инициальные [East section, Spolic Technosols (Clayic)]								
16 (Транс) [Trans]	0–5	50,0 ± 0,15	6,3 ± 0,11	5,5 ± 0,15	0,94 ± 0,21	0,12 ± 0,04	< 0,10	5,0 ± 1,30

Примечание. Данные представлены в виде средних арифметических ± стандартная ошибка средней; Нг – гидролитическая кислотность.

[Note. Data are presented as arithmetic means ± standard error of the mean; Ac_{tot} is the total (hydrolytic) acidity; El - eluvial position (top of dump), Trans - transit position (slope); Ac - accumulative position (bottom or terrace)].

Породы слабо затронуты процессами почвообразования, имели кислую реакцию среды, высокую гидролитическую кислотность, очень низкое содержание фосфора и высокое содержание калия в верхнем горизонте. Содержание углерода составляло в среднем 2,5% за счет углистых включений. Это пионерная стадия развития растительного покрова на эмбриоземе инициальном (Spolic Technosols (Loamic)). Сукцессионной смены растительности не происходило в связи с высокой ветровой нагрузкой и невозможностью закрепления растений на субстрате.

В транзитных позициях исследованного отвала (Пл. 4–6, 8) существенно возрастало общее проективное покрытие растений и появилась ярусность в травяном покрове. Формировалась сложная растительная группировка. Видовой состав на изученных площадках 4–5–6 сходен. На это указывают высокие коэффициенты Жаккара (0,60–0,73). Отличия прослеживаются в соотношении тех или иных видов (см. табл. 2). Запасы надземной фитомассы составляли до 1 000 г/м², мортмассы – до 400 г/м². Активное самозаращение приводило к формированию поверхностного слоя почвы, густо переплетенного корнями, с содержанием Сорг. до 1,1%, формируя эмбриоземы дерновые (Spolic Technosols (Suprafollic, Loamic)). Реакция среды изменялась в сторону нейтральной. Отмечена разбалансированность в содержании основных элементов питания растений: содержание подвижных форм фосфора низкое, калия – избыточное. В нижележащих горизонтах резко снижалось содержание Сорг. и основных элементов питания растений, породы имели слабокислую реакцию среды (см. табл. 3). На пл. 9 растительный покров разреженный; возможно, это связано с высокой ветровой нагрузкой. Здесь сформирована простая растительная группировка, свойствен групповой характер распределения растений. Формирование почвенных органогенных горизонтов не происходило.

В аккумулятивной позиции (пл. 7) возрастала роль древесной растительности. Отмечено активное возобновление *Populus tremula*, высота особей 1,6–5 м, диаметр стволов 4–9 см. Сомкнутость крон достигала 60%. Также здесь массово произрастал молодой подрост ивы, формируя кустарниковый ярус. Единично встречались представители семейства Rosaceae. Это стадия замкнутого фитоценоза со сложным видовым составом и ярусной структурой. Сформировался лесной тип растительного сообщества. Проективное покрытие травянистой растительности снижалось до 30%, запасы надземной фитомассы составляли в среднем 300 г/м², мортмассы – 400 г/м². В этих условиях активно протекали гумусообразовательные процессы. Реакция среды в слое 0–5 см нейтральная, содержание Сорг. возросло до 3,35%, фосфора – достигало высоких значений, калия – очень высоких. Сформировались эмбриоземы гумусово-аккумулятивные (Spolic Technosols (Humic, Loamic)). Резкое снижение содержания Сорг. и основных элементов питания растений отмечено на глубине ниже 20 см.

На участке Восточный исследован 16-летний отвал (рис. 3), сложенный глинистыми породами. Растительный покров на отвале сильно неоднороден. Это связано с активной эрозией в виде глубоких промоин и смывов на

некоторых элементах рельефа. Развитие растительных группировок на таких участках (пл. 14) находилось в пионерной стадии, почвообразование – в инициальной. Общее проективное покрытие составляло 5–10%. Запасы фитомассы здесь резко сокращались до 160 г/м², мортмассы – до 50 г/м².

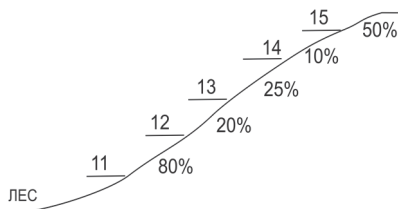


Рис. 3. Схема расположения трансекты на 16-летнем отвале участка Восточный.
 Цифрами указаны номера площадок;
 в процентах (%) – общее проективное покрытие травяного покрова
[Fig. 3. Scheme of the location of transect on the 16-year dump of the East section
 Numerals with site numbers; in percent (%) - total projective cover of grass]

Всего в пределах заложенной трансекты зафиксировано 23 вида сосудистых растений, 5 из которых древесные. В элювиальной позиции отвала (пл. 15) преобладала злаково-клеверовая синузия, общее проективное покрытие достигало 50%. Запасы фитомассы составляли в среднем 800 г/м², мортмассы – в 2 раза ниже. Это сложная группировка с непостоянным видовым составом.

На наиболее заросших участках отвала проективное покрытие составляло до 80%, запасы фитомассы возрастали до 1 100–1 300 г/м², мортмассы – до 250–520 г/м². Доминантами в растительном покрове выступали *Equisetum arvense* и *Artemisia Argyi*. Встречались единичные особи подроста древесных – *Betula platyphylla*, *Salix schwerinii*, *Populus suaveolens*.

Таблица 4 [Table 4]

**Список видов сосудистых растений и их проективное покрытие (%)
 на отвалах участка Восточный**

[List of vascular plant species and their projective cover (%) on the dumps of the East section]

Название видов растений [Species]	Номер учетной площадки [Site number]				
	11	12	13	14	15
	Деревья (проективное покрытие крон, %) [Trees (projective crown cover, %)]				
<i>Populus tremula</i> L.	0,1	–	–	2	–
<i>Betula platyphylla</i> Sukacz	–	0,3	0,2	–	0,3
<i>Ulmus pumila</i> L.	–	–	0,1	–	0,1
<i>Quercus mongolica</i> Fisch. Ex Ledeb.	0,1	–	–	–	–
<i>Populus suaveolens</i> Fisch.	–	0,1	0,1	–	–
Кустарники [Shrubs]					
<i>Salix schwerinii</i> E. Wolf	–	0,1	–	–	0,5
Травы [Grasses]					
<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth	2	–	–	2	10
<i>Trifolium repens</i> L.	1	–	–	1	3
<i>Trifolium pratense</i> L.	0,1	0,2	3	2	30

Название видов растений [Species]	Номер учетной площадки [Site number]				
	11	12	13	14	15
	Деревья (проективное покрытие крон, %) [Trees (projective crown cover, %)]				
<i>Hieracium umbellatum</i> L.	0,1	—	0,1	0,1	0,1
<i>Artemisia rubripes</i> Nakai	0,2	—	—	—	0,2
<i>Cirsium setosum</i> (Willd.) Bieb.	1	—	0,1	—	0,1
<i>Artemisia Argyi</i> Levl. et Vaniot	—	15	0,2	0,3	0,1
<i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski	0,1	—	—	—	0,1
<i>Taraxacum officinale</i> Wigg.	—	0,1	0,1	—	0,1
<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	0,1	—	—	—	0,1
<i>Vicia cracca</i> L.	—	—	—	—	0,1
<i>Equisetum arvense</i> L.	75	2	20	1	—
<i>Erigeron annuus</i> (L.) Desf.	0,1	—	0,1	—	—
<i>Sonchus arvensis</i> L.	0,1	0,1	0,1	—	—
<i>Tussilago farfara</i> L.	—	0,1	0,1	—	—
<i>Miscanthus sacchariflorus</i> (Maxim.) Benth.	—	0,2	0,1	—	—
<i>Trifolium campestre</i> Schreb.	0,1	0,1	—	0,1	—
<i>Oenothera depressa</i> Greene	—	—	—	—	—
<i>Stachys</i> sp.	—	—	—	—	—
<i>Trifolium hybridum</i> L.	—	—	—	—	—
Кол-во видов на пробной площади [Total number of species in the site]	14	11	13	8	14

Примечание. «—» – вид отсутствует.

[Note. "-" - species is missing].

В аккумулятивной позиции единично отмечен мелкий подрост *Quercus mongolica* до 0,5 м и крупный подрост *Populus tremula* 1,5–2,5 м высотой, занесенные с примыкающего к отвалу небольшого дубового леса. Сформировалась сложная растительная группировка. В этот период самозаращания отвала обеспечивалось поступление растительного органического вещества на поверхность почвы, которое образовало горизонт подстилки. Сформировались эмбриоземы органо-аккумулятивные (Spolic Technosols (Protolic, Clayic). Содержание Сорг. низкое во всей исследованной толще (50 см), максимум приходился на поверхностный горизонт (до 0,5%). На участках с разреженной растительностью содержание Сорг. находилось в следовых количествах, что связано со смывом поверхностного слоя. Здесь формировались эмбриоземы инициальные (Spolic Technosols (Clayic). Содержание подвижных форм фосфора в породах отвала очень низкое, калия – очень высокое (см. табл. 3).

Обсуждение

Проведенные исследования позволили установить различия в видовом составе растительности на изученных отвалах. Наиболее обильны по проективному покрытию и количеству видов на изученных отвалах были представители семейства Asteraceae и Poaceae. Подобная закономерность отме-

чена и для других месторождений Приморского края [12]. Рассчитанные коэффициенты Жаккара указывают на различия флористического состава на исследованных площадках отвалов за исключением пл. 4–6. Наибольший коэффициент сходства видового состава растительности (0,47) отмечен для отвалов более зрелого возраста.

Представители семейства Fabaceae гораздо активнее развивались на отвалах, сложенных глинистыми породами. Влияние гранулометрического состава пород на видовой состав растений-первопоселенцев отмечается и в работе [27]. Представители семейств Onagraceae, Polygonaceae, Commelinaceae, Caryophyllaceae встречались только на 8-летнем отвале участка Северная депрессия. Основу же пионерных группировок здесь составляли *Equisetum arvense* и *Sonchus arvensis*. Растения семейств Lamiaceae, Geraniaceae, Asparagaceae, Rosaceae, Convolvulaceae были отмечены только на 15-летнем отвале участка Северная депрессия. В естественных условиях эти виды приурочены к лесным сообществам и кустарниковым зарослям. Здесь же отмечено и наибольшее количество видов растительности.

Установлено увеличение запасов надземной фитомассы с увеличением возраста отвалов. Такая закономерность отмечена и в других исследованиях, проводимых на нерекультивированных отвалах [28].

Ранее проведенные нами исследования [29] позволили установить, что отвалы, сложенные глинистыми породами, имеющие уклоны 25–30° и кислую реакцию среды, активно зарастали хвощево-пыльняными группировками уже к 3-му году после отсыпки. Исходя из этого, можно предположить, что отвалы с тем же уклоном, но сложенные легкими по гранулометрическому составу породами, имеют более продолжительный период начального этапа самозарастания. Пионерные микрогруппировки на отвале участка Северная депрессия сохранились вплоть до 8-летнего возраста из-за активных эрозионных процессов с самого начала отсыпки и менее подходящими условиями для закрепления и выживания растений, таких как перегрев субстрата и быстрая потеря влажности. В связи с этим практически не развиты и почвообразовательные процессы. В породах отвала обнаруживались углистые включения, содержание углерода в 50-см толще варьировалось в пределах 0,3–0,6%, при этом закономерного уменьшения с глубиной не происходило. Это содержание углерода можно принять за исходное в породах отвала, т.е. педогенного накопления Сорг. на этом отвале не отмечалось. Формирующиеся здесь эмбриоземы инициальные являются «нуль-моментом» развития почвенного покрова на отвалах и характеризуются отсутствием каких-либо органогенных горизонтов.

Участок Северная депрессия расположен в окружении лугов и небольших участков вторичных лесов с генеративными особями *Populus tremula*, что может играть роль в ее локальном расселении. Проведенные здесь исследования показали, что при благоприятных формах рельефа отвалов (выположенные террасы) происходило активное возобновление древесной растительности. Уже на 15-летних отвалах отмечены участки с развитым древесным покровом из экологически пластичных видов семейства Salicaceae. В таких условиях активно протекали гумусообразовательные процессы.

Склоны отвалов крутизной 12–15° зарастали травянистой растительностью, формируя дерновый горизонт почв. В составе растительности до 50% от общего видового разнообразия приходилось на сорные растения. Это отмечают в своей работе и О.В. Трефилова с соавт. [30] для более «зрелых» отвалов. Большинство сорных растений при этом не играли заметной роли в формировании проективного покрытия за исключением *Equisetum arvense*, *Artemisia rubripes* и *A. argi*.

В работе Л.А. Сибириной и др. [10] для данной территории отмечено формирование лесного типа растительности к возрасту отвалов 30 лет. Однако, исходя из наших данных, формирование террас при отсыпке отвала создает пригодные для самозарастания участки и время на восстановление лесного фитоценоза сокращается вдвое.

Наибольшее проявление эрозионных процессов на отвалах, сложенных глинистыми породами, отмечалось с возрастом, что хорошо иллюстрируется особенностями зарастания 16-летнего отвала участка Восточный. Это, вероятно, связано с переуплотнением пород отвалов со временем, что препятствует развитию растительности и закреплению грунтов отвала корневой системой растений. Формирование растительности на этих отвалах идет по луговому типу [31]. Нашими исследованиями установлено, что узкая полоска дубового леса с включениями *Tilia amurensis* и *Acer mono*, с развитым кустарниковым ярусом из *Lespedeza bicolor*, вплотную примыкающая к изученному 16-летнему отвалу, не оказывала заметного влияния на его зарастание древесными породами. Вследствие естественных причин, таких как эрозия субстрата, высокая плотность грунтов и невозможность распространения семян дуба вверх по склону, развитие древесно-кустарниковой растительности здесь сильно затруднено. Для улучшения формирования древостоев необходима планировка размещения отвалов ниже участков с естественными лесными сообществами, что будет способствовать естественному распространению семян.

Неоднократно исследователями отмечалось, что естественное восстановление растительного покрова в техногенных ландшафтах идет по зональному типу. В то же время при исследовании разновозрастных отвалов Павловского месторождения (3–30 лет) отмечено, что сообществ, отражающих зональный тип растительности, на отвалах не обнаружено [10].

Кислотность глинистых пород отвалов на участке Восточный снижается по истечении 8 лет в верхней 50-см толще [15]. Легкосуглинистые породы 8-летнего отвала на участке Северная депрессия с развитыми на нем пионерными растительными группировками имели повышенную кислотность.

В целом исследуемые типы местообитаний пригодны для естественного возобновления древесной растительности малотребовательными видами. Однако если в некоторых работах указывается, что данный процесс идет довольно успешно, то в условиях муссонного климата нашей территории эрозионные процессы являются основным сдерживающим фактором самозарастания.

Заключение

Большую часть флоры отвалов на изученных участках Павловского месторождения составляли травянистые многолетники семейств Роасеае, Asteraceae и Fabaceae. Существенную роль в процессе самозарастания, особенно на его начальном этапе, играл *Equisetum arvense*.

Отвалы, сложенные породами легкого гранулометрического состава с крутизной склонов 25°, в первое 10-летие практически не зарастали в силу сильных эрозионных процессов. Развитые здесь пионерные растительные группировки характеризовались низким проективным покрытием и очень малыми запасами фитомассы. В таких условиях педогенные процессы развиты слабо, формируются эмбриоземы инициальные (Spolic Technosols (Loamic)), являющиеся «нуль-моментом» развития почв на отвалах.

При более благоприятных формах рельефа отмечалось активное возобновление древесной растительности уже к 15-му году после отсыпки отвала. Формировался полноценный древесный ярус с присутствием лесных видов травянистой растительности, что способствовало развитию гумусового горизонта на выровненной поверхности отвала. Это стадия развития замкнутого фитоценоза на эмбриоземе гумусово-аккумулятивном (Spolic Technosols (Humic, Loamic)). На склонах отвала при этом развиты сложные растительные группировки на эмбриоземе дерновом (Spolic Technosols (Suprafollic, Loamic)).

Развитие растительности на отвалах 16-летнего возраста, сложенных породами тяжелого гранулометрического состава, оставалось на стадии сложных растительных группировок. Дерновый горизонт в таких условиях не формировался, развиты эмбриоземы органо-аккумулятивные (Spolic Technosols (Prototolic, Clayic)). Обширные участки отвала были подвержены эрозионным процессам, где растительность практически отсутствовала, эмбриоземы находились на инициальной стадии развития (Spolic Technosols (Clayic)).

Формирование фитоценозов на отвалах, сложенных породами глинистого состава участка Восточный, идет по луговому типу, что связано с характером прилегающих растительных формаций и неблагоприятными свойствами тяжелых глинистых пород для прорастания и закрепления семян древесной растительности. На отвалах участка Северная депрессия, сложенных более легкими породами, приживаемость древесных видов растений выше.

Установлено, что в первые годы после отсыпки породы отвалов мало пригодны для биологической рекультивации в силу их высокой кислотности. По мере зарастания отмечено увеличение органического углерода, основных элементов питания растений и снижение кислотности пород отвалов.

Одним из основных сдерживающих факторов развития стабильных фитоценозов на отвалах являются процессы водной эрозии. Для предотвращения эрозионных процессов в условиях муссонного климата наиболее эффективным будет проведение террасирования на отвалах. На глинистые отвалы рекомендуется нанесение плодородного слоя после их планировки.

Таким образом, на территории одного месторождения процессы самозарастания отвалов могут иметь различную скорость и направленность в зависимости от особенностей рельефа, гранулометрического состава пород

отвалов и типа прилегающих растительных сообществ. Соответственно, при решении вопросов рекультивации необходим индивидуальный подход к каждому объекту рекультивации с учетом естественных процессов самовосстановления.

Список источников

1. Гусев А.П. Особенности сукцессий растительности в ландшафтах, нарушенных деятельностью человека (на примере юго-востока Белоруссии) // Сибирский экологический журнал. 2012. № 2. С. 231–236. doi: 10.1134/S1995425512020060
2. Патова Е.Н., Кулюгина Е.Е., Денева С.В. Процессы естественного восстановления почв и растительного покрова на отработанном угольном карьере (Большеземельская тундра) // Экология. 2016. № 3. С. 173–179.
3. Prach K., Lencova K., Rehoukova K., Dvorakova H., Jirova A., Konvalinkova P., Mudrak O., Novak J., Trnkova R. Spontaneous vegetation succession at different central European mining sites: a comparison across series // Environmental Science and Pollution Research. 2013. № 20. PP. 7680–7685. doi: 10.1007/s11356-013-1563-7
4. Lei H., Peng Z., Yigang H., Yang Z. Vegetation and soil restoration in refuse dumps from open pit coalmines // Ecological Engineering. 2016. Vol. 94. PP. 638–646. doi: 10.1016/j.ecoleng.2016.06.108
5. Chu Zx., Wang Sc. & Wang Xm. Distribution pattern and limiting factors of vegetation in coal waste pile of Xinzhuangzi coal mine in Huainan // Journal of Coal Science and Engineering (China). 2012. Vol. 18. PP. 413–417. doi: 10.1007/s12404-012-0414-3
6. Куприянов А.Н., Морсакова Ю.В. Начальные этапы формирования растительного покрова на техногенных экотопах Кузбасса // Сибирский экологический журнал. 2008. № 2. С. 255–261.
7. Zhao Y., Zhang P., Hu Y., Huang L. Effects of Re-vegetation on Herbaceous Species Composition and Biological Soil Crusts Development in a Coal Mine Dumping Site // Environmental Management. 2016. Vol. 57, № 2. PP. 298–307. doi: 10.1007/s00267-015-0607-9
8. Sokolov D.A., Androkhov V.A., Abakumov E.V. Soil formation in technogenic landscapes: trends, results, and representation in the current classifications (Review) // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2021. № 56. С. 6–32. doi: 10.17223/19988591/56/1
9. Ивакина Е.В., Осипов С.В. Естественное и искусственное лесовосстановление в горнопромышленных ландшафтах Дальнего Востока России // Сибирский лесной журнал. 2016. № 2. С. 6–21. doi: 10.15372/SJFS20160201
10. Сибирина Л.А., Полохин О.В., Жабыко Е.В. Начальные этапы формирования растительного покрова на техногенных экотопах Приморского края // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14, № 1 (6). С. 1539–1542.
11. Денисов Н.И., Саранчук А.П., Сеница А.А. Восстановление растительного покрова на техногенных ландшафтах севера Приморского края (отвалах буроугольных месторождений) // Природообустройство. 2016. № 5. С. 114–122.
12. Костенков Н.М., Пуртова Л.Н., Верхлат В.П. Растительность и запасы органического вещества в фитоценозах техногенных ландшафтов (на примере Лучегорского угольного разреза Приморского края) // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2011. № 4 (158). С. 73–80.
13. Ивакина Е.В., Якубов В.В., Осипов С.В. Сосудистые растения участка угледобычи «Лузановский» (российский Дальний Восток) // Сибирский экологический журнал. 2013. № 2. С. 234–247.
14. Осипов С.В., Черданцева В.Я., Галанина И.А., Якубов В.В. Видовой состав и эколого-ценотические спектры сосудистых растений, мхов и лишайников на участках золотодобычи в таежной зоне Нижнего Приамурья (Дальний Восток) // Сибирский экологический журнал. 2008. № 4. С. 553–569.

15. Костенков Н.М., Комачкова И.В., Пуртова Л.Н. Почвы техногенных ландшафтов Приморья (Лучегорский и Павловский угольные разрезы) // Почвоведение. 2013. № 11. С. 1283–1293. doi: 10.7868/S0032180X13110075
16. Витвицкий Г.Н. Климат // Природные условия и естественные ресурсы СССР: Южная часть Дальнего Востока / ред. В.В. Никольская, А.С. Хоментовский. М. : Наука, 1969. С. 70–96.
17. Степанько А.А. Агрогеографическая оценка земельных ресурсов и их использование в районах Дальнего Востока. Владивосток : Дальнаука, 1992. 114 с.
18. Колесников Б.П. Растительность // Природные условия и естественные ресурсы СССР: Южная часть Дальнего Востока / ред. В.В. Никольская, А.С. Хоментовский. М. : Наука, 1969. С. 206–250.
19. Раменский Л.Г. Избранные работы. Проблемы и методы изучения растительного покрова. Л. : Наука, 1971. 334 с.
20. Воробьев Д.П., Ворошилов В.Н., Горовой П.Г., Шретер А.И. Определитель растений Приморья и Приамурья. М. ; Л. : Наука, 1966. 491 с.
21. Воронов А.Г. Геоботаника. 2-е изд. М. : Высшая школа, 1973. 384 с.
22. Агрохимические методы исследования почв / под ред. А.В. Соколова. М. : Наука, 1975. 656 с.
23. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. 2-е изд. М. : МГУ, 1970. 487 с.
24. Курачев В.М., Андроханов В.А. Классификация почв техногенных ландшафтов // Сибирский экологический журнал. 2002. № 3. С. 255–261.
25. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. Vienna, Austria : International Union of Soil Sciences, 2022. 236 p.
26. Ивантер Э.В., Коросов А.В. Основы биометрии: введение в статистический анализ биологических явлений и процессов. Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 1992. 168 с.
27. Коронатова Н.Г., Милыева Е.В. Сукцессия фитоценозов при зарастании выработанных карьеров в подзоне северной тайги Западной Сибири // Сибирский экологический журнал. 2011. № 5. С. 697–705.
28. Кандрашин Е.Р. Сингенез и продуктивность естественной растительности и полукультур фитоценозов на отвалах угольных разрезов Кузбасса // Почвообразование в техногенных ландшафтах. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-е, 1979. С. 163–171.
29. Комачкова И.В., Пуртова Л.Н. Гумусное состояние и энергозапасы почв техногенных ландшафтов Приморья // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 3 (19). С. 7–17.
30. Трефилова О.В., Ефимов Д.Ю., Оскорбин П.А., Мурзакматов Р.Т. Фитомасса растительных сообществ на отвалах угольных разрезов юга Средней Сибири // Сибирский лесной журнал. 2016. № 6. С. 38–48. doi: 10.15372/SJFS20160604
31. Шенников А.П. Луг // Большая советская энциклопедия. 2-е изд. М., 1954. Т. 25. С. 443–448.

References

1. Gusev AP. Features of plant succession in landscapes disturbed by anthropogenic activity (by example of southeastern Belarus). *Contemporary Problems of Ecology*. 2012;5(2):174–178. doi: 10.1134/S1995425512020060
2. Patova EN, Kulyugina EE, Deneva SV. Processes of natural soil and vegetation recovery on a worked-out open pit coal mine (Bol'shezemel'skaya tundra). *Russian Journal of Ecology*. 2016;47(3):228–233. doi: 10.1134/S1067413616020119
3. Prach K, Lencova K, Rehounkova K, Dvorakova H, Jirova A, Konvalinkova P, Mudrak O, Novak J, Trnkova R. Spontaneous vegetation succession at different central European mining sites: a comparison across seres. *Environmental Science and Pollution Research*. 2013;20:7680–7685 doi: 10.1007/s11356-013-1563-7

4. Lei H, Peng Z, Yigang H, Yang Z. Vegetation and soil restoration in refuse dumps from open pit coalmines. *Ecological Engineering*. 2016;94:638-646. doi: 10.1016/j.ecoleng.2016.06.108
5. Chu Zx, Wang Sc, Wang Xm. Distribution pattern and limiting factors of vegetation in coal waste pile of Xinzhuangzi coal mine in Huainan. // *Journal of Coal Science and Engineering (China)*. 2012;18:413-417. doi: 0.1007/s12404-012-0414-3.
6. Kupriyanov AN, Morsakova YuV. Initial stages of the formation of plant cover on industry-caused ecotopes of the Kuznetsk Basin. *Siberian Journal of Ecology*. 2008;15(2):255-261. In Russian, English abstract
7. Zhao Y, Zhang P, Hu Y, Huang L. Effects of re-vegetation on herbaceous species composition and biological soil crusts development in a coal mine dumping site. *Environmental Management*. 2016;57(2):298-307. doi: 10.1007/s00267-015-0607-9
8. Sokolov DA, Androkhonov VA, Abakumov EV. Soil formation in technogenic landscapes: trends, results, and representation in the current classifications (Review). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya - Tomsk State University Journal of Biology*. 2021;56:6-32. doi: 10.17223/19988591/56/1
9. Ivakina EV, Osipov SV. Natural and artificial reforestation in the mining landscapes of the Russian Far East. *Sibirskij Lesnoj Zhurnal-Siberian Journal of Forest Science*. 2016;2:6-21. In Russian, English abstract doi: 10.15372/SJFS20160201
10. Sibirina LA, Polokhin OV, Zhabyko EV. Initial stages of the formation of plant cover on industry-caused ecotopes of the Primorsky territory. *Izvestiya of the Samara Science Centre of the Russian Academy of Sciences*. 2012;14(1 (6)):1539-1542. In Russian, English abstract
11. Denisov NI, Saranchuk AP, Sinita AA. Revegetation of the plant cover on technogenic landscapes of the north of Primorie territory (dumps of brown-coal fields). *Prirodoobustroystvo*. 2016;5:114-122. In Russian, English abstract
12. Kostenkov NM, Purtova LN, Verkholat VP. Vegetation and organic matter reserves in phytocenosis of technogenic landscapes (by the example of Luchegorsk coal field of Primorsky Krai). *Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2011;4(158):73-80. In Russian, English abstract
13. Ivakina EV, Osipov SV, Yakubov VV. Vascular plants of the Luzanovskii open-pit coal-mining station (Russian Far East). *Contemporary Problems of Ecology*. 2013;6(2):187-198. doi: 10.1134/S1995425513020054
14. Osipov, SV, Cherdantseva, VY, Galanina, IA, Yakubov VV. Species composition and ecologo-phytocenotic spectra of vascular plants, mosses, and lichens on gold-mining sites in the taiga zone of the lower Amur River basin, the Russian Far East. *Contemporary Problems of Ecology*. 2008;1:425-439. doi: 10.1134/S1995425508040061
15. Kostenkov NM, Komachkova IV, Purtova LN. Soils of technogenic landscapes in the Far East: The Luchegorsk and Pavlovsk coal strip mines. *Eurasian Soil Science*. 2013;46(11):1049-1058. doi: 10.1134/S1064229313110057
16. Vitvitskiy GN. Klimat [Climate]. In: *Prirodnye usloviya i estestvennye resursy SSSR: Yuzhnaya chast' Dal'nego Vostoka* [Natural conditions and natural resources of the USSR: Southern part of the Far East]. Nikol'skaya VV, Khomentovskiy AS, editors. Moscow: Nauka Publ.; 1969. pp. 70-96. In Russian
17. Stepan'ko AA. Agrogeograficheskaya otsenka zemel'nykh resursov i ikh ispol'zovanie v rayonakh Dal'nego Vostoka [Agrogeographical assessment of land resources and their use in the Far East]. Vladivostok: Dal'nauka Publ.; 1992. 114 p. In Russian
18. Kolesnikov BP. Rastitel'nost' [Vegetation]. In: *Prirodnye usloviya i estestvennye resursy SSSR: Yuzhnaya chast' Dal'nego Vostoka* [Natural conditions and natural resources of the USSR: Southern part of the Far East]. Nikol'skaya VV, Khomentovskiy AS, editors. Moscow: Nauka Publ.; 1969. pp. 206-250. In Russian
19. Ramenskiy LG. Izbrannye raboty. Problemy i metody izucheniya rastitel'nogo pokrova [Selected works. Problems and methods of studying races]. Leningrad: Nauka Publ.; 1971. 334p. In Russian

20. Vorob'ev DP, Voroshilov VN, Gorovoy PG, Shreter AI. Opredelitel' rasteniy Primor'ya i Priamur'ya [The determinant of plants in Primorskiy territory and the Amur region]. M.–L.: Nauka, Leningrad branch Publ.; 1966. 491 p. In Russian
21. Voronov AG. Geobotanika [Geobotany]. 2nd ed. Moscow: Vysshaya shkola Publ.; 1973. 384 p. In Russian
22. Agrokhimicheskie metody issledovaniya pochv [Agrochemical methods for soil research]. Sokolov AV, editor. Moscow: Nauka Publ.; 1975. 656 p. In Russian
23. Arinushkina EV. Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv [Guide to chemical analysis of soils]. 2nd ed. Moscow: Moscow State University; 1970. 487 p. In Russian
24. Kurachev VM, Androkhonov VA. Klassifikatsiya pochv tekhnogennykh landshaftov [Classification of soils in technogenic landscapes]. *Siberian Journal of Ecology*. 2002;3:255-261. In Russian
25. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences. Vienna, Austria, 2022. 236 p.
26. Ivanter EV, Korosov AV. Osnovy biometrii: vvedenie v statisticheskiy analiz biologicheskikh yavleniy i protsessov [Fundamentals of biometrics: an introduction to statistical analysis of biological phenomena and processes. Petrozavodsk: Petrozavodsk State University Publ.; 1992. 168 p. In Russian
27. Koronatova NG, Milyaeva EV. Plant community succession in post-mined quarries in the northern-taiga zone of West Siberia. *Contemporary Problems of Ecology*. 2011;4(5):513-518. doi: 10.1134/S1995425511050109
28. Kandrashin ER. Singenez i produktivnost' estestvennoy rastitel'nosti i polukul'tur fitotsenozov na otvalakh ugol'nykh razrezov Kuzbassa [Syngenes and productivity of natural vegetation and semi-cultures of phytocenoses on the dumps of Kuzbass coal mines]. In: Pochvoobrazovanie v tekhnogennykh landshaftakh [Soil formation in technogenic landscapes]. Novosibirsk: Nauka, Siberian branch Publ.; 1979. pp. 163-171. In Russian
29. Komachkova IV, Purtova LN. Humus state and energy stocks of soils of technogenic landscapes of the south of Primorye. *Tomsk State University Journal of Biology*. 2012; 3(19):7-17. In Russian, English summary
30. Trefilova OV, Efimov DYU, Oskorbin PA, Murzakmatov RT. Phytomass of plant communities at the dumps of opencast coal mines in the south of Central Siberia. *Sibirskiy Lesnoj Zhurnal-Siberian Journal of Forest Science*. 2016;6:38-48. doi: 10.15372/SJFS20160604
31. Shennikov A P. Lug [Meadow]. In: Bol'shaya Sovetskaya Entsiklopediya [Great Soviet Encyclopedia]. 2nd ed. Vol. 25 Moscow: Sovetskaya Entsiklopediya Publ.; 1954. pp. 443-448. In Russian

Информация об авторах:

Киселева Ирина Владимировна – канд. биол. наук, с.н.с. лаборатории почвоведения и экологии почв Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН (Владивосток, Россия).

E-mail: kiseleva-iv@inbox.ru

Перепелкина Полина Александровна – м.н.с. сектора геоботаники Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН (Владивосток, Россия).

E-mail: polly2004@list.ru

Бурдуковский Максим Леонидович – канд. биол. наук, с.н.с. лаборатории почвоведения и экологии почв Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН (Владивосток, Россия).

E-mail: burmaxs@inbox.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors:

Irina V. Kiseleva, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher of soil science and soil ecology laboratory, Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS (Vladivostok, Russian Federation).

E-mail: kiseleva-iv@inbox.ru

Polina A. Perepelkina, Junior Researcher, Geobotany Sector Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS (Vladivostok, Russian Federation).

E-mail: polly2004@list.ru

Maxim L. Burdukovskii, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher of soil science and soil ecology laboratory Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS (Vladivostok, Russian Federation).

E-mail: burmaxs@inbox.ru

The Authors declare no conflict of interest.

*Статья поступила в редакцию 25.04.2022;
одобрена после рецензирования 05.08.2023; принята к публикации 18.03.2024.*

*The article was submitted 25.04.2022;
approved after reviewing 05.08.2023; accepted for publication 18.03.2024.*