

УДК 911.9:631.4:581.5  
DOI 10.52575/2712-7443-2021-45-3-301-315

## Формирование почв под луговыми сообществами на золоотвалах Среднего Урала

<sup>1</sup>Петрова Т.А., <sup>1</sup>Некрасова О.А., <sup>1</sup>Учаев А.П., <sup>2</sup>Дергачева М.И.,  
<sup>1</sup>Радченко Т.А., <sup>1</sup>Бетехтина А.А.

<sup>1</sup>Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,  
Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19

<sup>2</sup>Институт почвоведения и агрохимии СО РАН,  
Россия, 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 8/2  
E-mail: tatiana.petrova@urfu.ru

**Аннотация.** Формирование растительных сообществ и почв на золоотвалах снижает их негативное воздействие на окружающую среду, однако сведения о свойствах эмбриоземов, формирующихся на зольном субстрате в процессе самозарастания, немногочисленны. Проведены комплексные исследования на заросшем травянистой растительностью участке золоотвала Среднеуральской электростанции, сложенного золой уноса бурого угля, а также на фоновых участках с вторичными послелесными лугами с целью выявления особенностей почв, сформированных на 50-летнем золоотвале под луговыми сообществами в южнотаежных условиях Среднего Урала. Выявлено, что в процессе первичной сукцессии на золоотвале сформировались разнотравно-злаковые луговые сообщества. В целом зольный субстрат оказался неоднороден по физико-химическим свойствам, однако сформировавшиеся в его верхней 20-сантиметровой толще молодые почвы – эмбриоземы – близки по морфологическому строению и особенностям дифференциации профиля, содержанию органического углерода, общего азота, подвижных форм фосфора и калия, обменных катионов кальция и магния, с максимальной аккумуляцией изученных элементов в гумусовом горизонте, а также по реакции среды. По сравнению с фоновыми почвами содержание большинства биогенных элементов в молодых почвах золоотвала существенно ниже. Полученные данные будут способствовать установлению закономерностей формирования почв на техногенных субстратах и, в конечном итоге, позволят влиять на преобразование техногенных экосистем.

**Ключевые слова:** зола, субстрат, золоотвал, луговые сообщества, эмбриозем, южная тайга, Средний Урал

**Благодарности:** количество углерода и запас фитомассы определены в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования (тема № FEUZ-2021-0014).

**Для цитирования:** Петрова Т.А., Некрасова О.А., Учаев А.П., Дергачева М.И., Радченко Т.А., Бетехтина А.А. 2021. Формирование почв под луговыми сообществами на золоотвалах Среднего Урала. Региональные геосистемы, 45 (3): 301–315. DOI 10.52575/2712-7443-2021-45-3-301-315

## Soil formation under meadow communities on the Middle Urals ash dumps

<sup>1</sup>Tatyana A. Petrova, <sup>1</sup>Olga A. Nekrasova, <sup>1</sup>Anton P. Uchaev, <sup>2</sup>Maria I. Dergacheva,

<sup>1</sup>Tatyana A. Radchenko, <sup>1</sup>Anna A. Betekhtina

<sup>1</sup>Ural Federal University named after the first President B.N. Yeltsin,  
19 Mira Av., Ekaterinburg, 620002, Russia

<sup>2</sup>Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS,  
8/2 Lavrentieva St, Novosibirsk, 630090, Russia  
E-mail: tatiana.petrova@urfu.ru

**Abstract.** The formation of plant communities and soils on ash dumps reduces their negative impact on the environment however, there are little data on the properties of Technosols formed on the ash substrate

during spontaneous vegetation. Comprehensive geobotanical and soil studies were carried out on Sredneuralskaya thermal power plant (SUTPP) fly ash dump area spontaneously overgrown with herbaceous vegetation, as well as on background areas with secondary post-forest meadows. The purpose of the study was to identify the features of soils formed on a 50-year-old ash dump under meadow communities in the southern taiga conditions of the Middle Urals. It was revealed that in the process of the primary succession on the ash dump, herb-grass meadow communities have been formed. In general, the ash substrate turned out to be heterogeneous in its physicochemical properties. However, the young soils formed in its upper layer (Technosols) are similar in morphological structure and features of profile differentiation in terms of the content of organic carbon, total nitrogen, mobile forms of phosphorus and potassium, exchange cations of calcium and magnesium (with the maximum accumulation of the studied elements in the humus horizon) as well as in the reaction of the medium. In comparison with the background soils, the content of most biogenic elements in the young soils of the ash dump is significantly lower. The data obtained will contribute to the establishment of soil formation patterns on technogenic substrates and, ultimately, will allow influencing the transformation of technogenic ecosystems. Since there is little information on the properties of Technosols formed on ash dumps during spontaneous succession, the data obtained will help to establish the patterns of soil formation on technogenic substrates, and ultimately will allow influencing the rate of soil formation.

**Key words:** ash, substrate, ash dump, meadow communities, Technosols, southern taiga, Middle Urals

**Acknowledgements:** carbon amount and phytomass stock were determined within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education (topic No. FEUZ-2021-0014).

**For citation:** Petrova T.A., Nekrasova O.A., Uchaev A.P., Dergacheva M.I., Radchenko T.A., Betekhtina A.A. 2021. Soil formation under meadow communities on the Middle Urals ash dumps. Regional Geosystems, 45 (3): 301–315 (in Russian). DOI 10.52575/2712-7443-2021-45-3-301-315

## Введение

В процессе деятельности тепловых электростанций (ТЭЦ), использующих уголь в качестве основного топлива, образуются золошлаковые отходы, которые складируют в золоотвалы. Как правило, золоотвалы подвергаются рекультивации путем применения разных приемов улучшения состояния зольных пород, однако на некоторых из участков рекультивация не проводится, и они остаются под самозаражание. С момента заселения зольного субстрата живыми организмами начинает протекать процесс почвообразования, и с течением времени происходит формирование почв – эмбриоземов, сведения о которых для Урала немногочисленны. Наибольшее число публикаций посвящено характеристикам видового состава естественных сукцессий растительности на золоотвалах [Махнев и др., 2002; Chu, 2008; Чибрик и др., 2011; Kostic et al., 2012; Mustafa et al., 2012; Pandey et al., 2012, 2014; Pandey, 2015; Pandey et al., 2015; Chibrik et al., 2016; Pandey et al., 2016; Шеремет и др., 2018; Лукина и др., 2019; и др.], большое количество публикаций отражает также свойства исходной золы [Пасынкова, 1974; Jambhulkar, Juwarkar, 2009; Pandey, Singh, 2014; Shaheen et al., 2014; Weber et al., 2015; Gajic et al., 2018; и др.]. В то же время формирующиеся в процессе почвообразования, протекающего при самозаражании зольного субстрата, эмбриоземы (или, согласно классификации WRB 2014, – техносолы) рассматриваются лишь в единичных работах [Pandey et al., 2014; Uzarowicz, Zagorski, 2015; Uzarowicz et al., 2017, 2018a; Константинов и др., 2018; Uzarowicz, 2018; Uzarowicz et al., 2018б; Nekrasova et al., 2020].

В связи со слабой изученностью свойств молодых почв, формирующихся на золоотвалах в процессе самозаражания, новая информация о таких объектах представляет существенный интерес, поскольку будет способствовать развитию представлений о формировании почв на разных породах от нуль- момента, выявлению общих закономерностей

почвообразования на техногенных субстратах, а также позволит наметить мероприятия для ускорения почвообразования на золоотвалах.

Настоящее исследование посвящено выявлению особенностей почв, сформированных на 50-летнем золоотвале под луговыми сообществами в южнотаежных условиях Среднего Урала (на примере золоотвала Среднеуральской ГРЭС).

### Объекты и методы исследования

Работа выполнена на выровненном участке буроугольного золоотвала Среднеуральской ГРЭС (СУГРЭС), расположенного на Среднем Урале, в 26 км к северо-западу от г. Екатеринбурга (Россия;  $57^{\circ}00' N$  и  $60^{\circ}27' E$ ), в Зауральской холмисто-предгорной провинции с абсолютными отметками высот преимущественно 250–300 м. Местоположение участка приурочено к Белоярскому южно-таежному ботанико-географическому округу, находится в типично лесном районе с южно-таежными сосновыми с лиственницей (реже сосново-еловыми и вторичными березовыми и смешанными) лесами, характеризуется умеренно-континентальным климатом с продолжительной (5–6 месяцев) холодной зимой, коротким (около трех месяцев), сравнительно теплым летом, среднегодовой температурой  $+2,2 \dots +2,4^{\circ}C$ , среднегодовым количеством осадков 510...520 мм [Климатические данные..., 2021]. Фоновые почвы представлены дерново-подзолистыми и бурыми горнолесными [Гафуров, 2008].

На участке сложенного золой уноса 50-летнего золоотвала, самопроизвольно заросшего луговой растительностью, были заложены пробные площади ( $S = 100 \dots 300 m^2$ ), на которых проведены комплексные геоботанические и почвенные исследования. Для сравнения аналогичные исследования были осуществлены на фоновых (контрольных) участках с вторичными послелесными лугами, находящимися в радиусе 3–4 км.

На каждой пробной площади было выполнено геоботаническое описание и заложено по 30 площадок размером  $0,25 m^2$  для определения проектного покрытия, высоты и состава травяного и мохово-лишайникового ярусов с целью определения весового обилия видов и запаса живой фитомассы. Составлены флористические списки с оценкой обилия каждого вида (по шкале Друде). Определялся класс постоянства видов и видовая насыщенность на площадке  $0,25 m^2$ . На основе оценки проектного покрытия и запасов фитомассы были выделены доминирующие виды.

На каждой пробной площади были также заложены почвенные разрезы (1-19, 2-19 и 3-19) и прикопки к ним и проведено их морфологическое описание. Образцы молодых почв золоотвалов и фоновых почв отбирались для аналитических исследований подробно, послойно, с учетом видимых границ горизонтов и подготавливались к анализу общепринятыми методами. Было определено содержание общего органического углерода – по Тюрину, общего азота – по Кельдалю, подвижного фосфора ( $P_2O_5$ ) – по Кирсанову, обменного калия ( $K_2O$ ) – пламенно-фотометрическим методом,  $pH$  – потенциометрическим методом, обменных  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  – титриметрически [Аринушкина, 1970; Воробьева, 2006]. Кроме этого, рассчитано валовое содержание оксидов основных элементов по содержанию последних, определенных атомно-эмиссионным (АМС) методом. Содержание и соотношение групп и фракций гумусовой составляющей почв определялось по модифицированной методике В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой [1968].

Среднестатистические величины разных почвенных характеристик рассчитывались и представлялись графически с использованием пакета STATISTICA 8.0 (StatSoft Inc., USA, 1984–2007).

### Результаты и их обсуждение

Травянистые сообщества, сформировавшиеся на 50-летнем золоотвале СУГРЭС, относятся к категории материковых разнотравно-злаковых лугов. Общее проектное их

покрытие составляет 20–50 % при средней высоте травостоя 35–50 см. Луга характеризуются относительно низким флористическим богатством, которое составляет от 12 до 23 видов (11 семейств и 18 родов) сосудистых растений на учетной площади в 100 м<sup>2</sup>, а также видовой насыщенностью от 3 до 9 видов на площадке 0,25 м<sup>2</sup>. Мохово-лишайниковый покров выражен крайне слабо, преобладающие виды – *Polytrichum juniperinum* Hedw. и *Brachythecium salebrosum* (F. Weber et D. Mohr) Bruch et al. – представлены неравномерными пятнами. В составе травостоя по количеству видов преобладают такие семейства, как Poaceae и Fabaceae (по 20 % от общего количества видов), а также Asteraceae (15 %). Анализ встречаемости видов позволил выявить среди них преобладающие, встречающиеся которых превышает 30 %: на территории золоотвала СУГРЭС – 11 видов, на фоновой территории – 44 вида. Определение весового обилия (табл. 1) показало, что преобладающими по массе видами (с долей участия более 3 % хотя бы на одной площадке) являются *Calamagrostis epigeios*, *Bromopsis inermis*, *Poa pratensis*, *Dianthus deltoides*, *Erigeron acris*, *Potentilla argentea*, *Rumex acetosella* и *Agrostis tenuis*. Флора лугов фоновой территории включает 98 видов травянистых растений, относящихся к 23 семействам и 67 родам. Ведущими семействами являются Poaceae (16,3 % от общего количества видов), Asteraceae (15,3 %) и Fabaceae (10,2 %). Среди доминантов лугов фоновой территории (за исключением *Poa pratensis*) выявлены другие виды: *Alchemilla vulgaris*, *Anthoxanthum odoratum*, *Agrostis tenuis*, *Centaurea phrygia*, *Dactylis glomerata*, *Festuca pratense*, *Taraxacum officinalis*, *Potentilla erecta* и *Veronica chamaedrys*.

Таблица 1  
 Table 1

Весовое обилие преобладающих видов луговой растительности пробных площадей  
 Weight abundance of the predominant species of the sample areas meadow vegetation

Территория	Вид	Весовая доля (%) на пробной площади (№)			
		1	2	3	Среднее
Золоотвал СУГРЭС	<i>Bromopsis inermis</i>	7,33	3,05	4,38	4,92
	<i>Calamagrostis epigeios</i>	13,42	40,47	44,73	32,87
	<i>Dianthus deltoides</i>	3,07	9,30	0	4,12
	<i>Erigeron acris</i>	20,39	8,57	9,04	12,67
	<i>Poa pratensis</i>	8,33	10,19	21,55	13,36
	<i>Potentilla argentea</i>	35,69	14,19	11,33	20,40
	<i>Rumex acetosella</i>	0,53	7,63	2,93	3,70
Фон	<i>Agrostis tenuis</i>	13,59	7,89	–	10,74
	<i>Alchemilla vulgaris</i>	17,66	46,34	–	32,00
	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	6,36	3,02	–	4,69
	<i>Centaurea phrygia</i>	0	6,40	–	3,20
	<i>Dactylis glomerata</i>	5,90	4,24	–	5,07
	<i>Festuca pratense</i>	8,49	0,94	–	4,72
	<i>Poa pratensis</i>	4,31	0,34	–	2,33
	<i>Potentilla erecta</i>	0,11	4,24	–	2,18
	<i>Taraxacum officinalis</i>	16,04	0	–	8,02
	<i>Veronica chamaedrys</i>	3,99	1,99	–	2,99

Сравнение флоры лугов золоотвала и фоновой территории по ценотическому составу показало, что в обоих случаях преобладают луговые виды (соответственно 40,0 и 39,8 % от общего количества видов).

Запас надземной фитомассы луговых сообществ золоотвала ниже фоновой более, чем в четыре раза (табл. 2). В сравнении с фоновыми луга золоотвала показывают более низкие значения и других показателей, что связано с более высоким видовым богатством

и видовой насыщенностью фоновых лугов, на которых развитый травяной ярус обуславливает и более высокий запас надземной фитомассы.

Таблица 2  
Table 2

Общий запас надземной фитомассы лугов  
Total stock of meadow aboveground phytomass

Территория	№ пробной площади	Надземная фитомасса, г/м <sup>2</sup>		
		на площади	пределы	среднее
Золоотвал СУГРЭС	1	75,81 ± 6,86	37,08–152,24	81,67±7,95
	2	81,94 ± 7,14		
	3	87,24 ± 9,84		
Фон	1	374,88 ± 33,35	110,88–551,85	349,82±34,38
	2	324,75 ± 35,42		

Сравнение флоры лугов золоотвала и фоновой территории по экологическому составу показало, что по отношению к влаге на фоновой территории мезофиты составляют 81 % от общего количества видов, на золоотвале – 75 %. Оценка экотопов по шкале увлажнения Л.Г. Раменского и др. [1956] показала, что луга золоотвала относятся к сухолуговому интервалу ступеней шкалы увлажнения, в то время как луга фоновой территории относятся к свежелуговому интервалу (табл. 3), по шкале богатства и засоления местообитания лугов золоотвала и фоновой территории – близки, относятся к ступеням 10,2–13,6, т. е. к относительно богатым почвам, характерным для суглинистых луговых почв.

Таблица 3  
Table 3

Балльная оценка видов луговой растительности золоотвала СУГРЭС и фоновой территории по Л.Г. Раменскому  
Score assessment of meadow vegetation species of SUTPP ash dump and background area according to L.G. Ramensky

Показатель	Территория						
	Площадки золоотвала СУГРЭС				Площадки фоновые		
	1	2	3	Среднее	1	2	Среднее
Увлажнение	57,8	59,3	58,5	58,5	67,3	67,7	67,5
Богатство и засоление	10,7	11,6	10,7	11,0	10,5	10,2	10,4

Процесс зарастания золоотвала травянистыми растениями можно рассматривать как этап первичной сукцессии по восстановлению зональной лесной растительности. Важным фактором, влияющим на скорость и характер зарастания, кроме доступности дисперсии, является характер субстрата и возможность повторного нанесения золы, а также условия увлажнения. Сравнивая луговые сообщества золоотвалов и фоновой территории, можно отметить, что на данном этапе сукцессионного развития сообщества на золе степень восстановления продуктивности травянистых сообществ составляет около 23 %, а состав и структура зависят как от возраста, так и, не в меньшей степени, от особенностей увлажнения субстрата.

В почвенных разрезах, заложенных на каждой пробной площади, морфологически был выделен буро-серый гумусовый горизонт мощностью 2 см (рыхлый, бесструктурный,

супесчаный, с включениями многочисленных тонких корней) и светло-серый горизонт С, вскрытый до глубины 40 см (рыхлый, бесструктурный, супесчаный, с единичными тонкими корнями в основном в верхней его части). Кроме того, по слабозаметному потемнению окраски на глубине 2–7 см дополнительно выделен горизонт АС. Толща под ним – горизонт С – был отобран подробно и обозначен сверху вниз как С1, С2, С3 и С4, что позволило проследить возможную глубину влияния процесса почвообразования на зольную породу. Таким образом, под луговыми сообществами на золоотвале СУГРЭС за 50 лет сформировались маломощные слабодифференцированные почвы – эмбриоземы [Гаджиев, Курачев, 1992] или техносоли [World Reference ..., 2014].

В минеральном составе золы СУГРЭС, на которой формировались эмбриоземы, преобладают алюмосиликаты. На максимальной глубине исследования претерпевшая наименьшие изменения зола имеет характеристики валового состава, представленные в табл. 4. Как показывают результаты, в наибольшей степени варьирует содержание оксидов титана, железа и алюминия, тогда как для остальных оксидов стандартное отклонение от средних значений не превышает 20 %, составляя в большинстве случаев 12–16 %.

Таблица 4  
 Table 4

Валовой состав субстрата золоотвала СУГРЭС (% к воздушно-сухой почве)  
 Bulk composition of SUTPP ash dump substrate (% to air-dry soil)

Варианты	Содержание основных оксидов, %								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
1	51,1	32,3	4,46	4,24	1,21	1,40	4,50	0,54	0,21
2	53,6	29,2	5,17	4,61	1,05	1,36	4,16	0,62	0,27
3	60,5	21,2	7,10	4,05	1,52	1,52	3,14	0,76	0,24
4	40,3	36,4	9,27	5,73	1,72	1,54	3,69	1,16	0,24
5	57,2	26,7	4,46	4,70	1,19	1,18	3,89	0,49	0,19
6	43,1	39,7	4,82	5,06	1,21	1,14	4,08	0,71	0,19
<i>x</i>	51,0	30,9	5,88	4,73	1,32	1,36	3,91	0,71	0,22
<i>s</i>	7,9	6,7	1,93	0,60	0,25	0,17	0,47	0,24	0,03
<i>V</i> , %	15,5	21,7	32,8	12,7	18,9	12,5	12,0	33,8	13,6

Обозначения: *x* – среднее отклонение; *s* – стандартное отклонение; *V* – коэффициент вариации, %

Зольный субстрат, на котором формировались молодые почвы под луговыми сообществами, на разных площадках имеет неоднозначные величины некоторых показателей вещественного состава (табл. 5): нейтральную или слабошелочную реакцию среды (рН от 6,70 до 7,47), от 0,23 % до 1,48 % общего органического углерода, незначительное количество общего азота (0,02–0,08 %); низкую или среднюю обеспеченность подвижными формами фосфора (3–10 мг/100 г) и низкую – калием (2–7 мг/100 г), небольшое количество обменных катионов кальция и магния (соответственно 2–4 и 0,3–1,2 мг-экв/100 г), низкое содержание гуминовых кислот в составе гумуса (5–9 %), а также фульвратный тип последнего.

Таблица 5  
 Table 5

Основные свойства зольного субстрата СУГРЭС  
 Main properties of SUTPP ash substrate

Варианты	рН <sub>2</sub> O	Содержание элементов						Доля ГК % к C <sub>опр.</sub>	C <sub>ГК</sub> :C <sub>ФК</sub>
		C <sub>опр.</sub>	N <sub>общ.</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>		
		масс, %		подвижные, мг/100 г		обменные, ммоль/100 г			
1	6,70	1,33	0,08	5,3	2,5	2,8	1,2	4,8	0,44
2	6,83	0,23	0,02	2,0	4,0	1,8	0,7	9,4	0,29
3	6,73	0,83	0,04	6,9	1,1	3,3	0,8	—	—
4	6,90	1,48	0,07	5,0	9,8	3,5	0,7	—	—
5	7,39	0,30	0,02	2,1	6,6	1,8	0,3	4,8	0,21
6	7,47	1,19	0,03	3,6	3,8	3,0	0,5	—	—

Результаты пределов варьирования полученных показателей вещественного состава педогенно переработанных золоотвалов представлены на рис. 1.

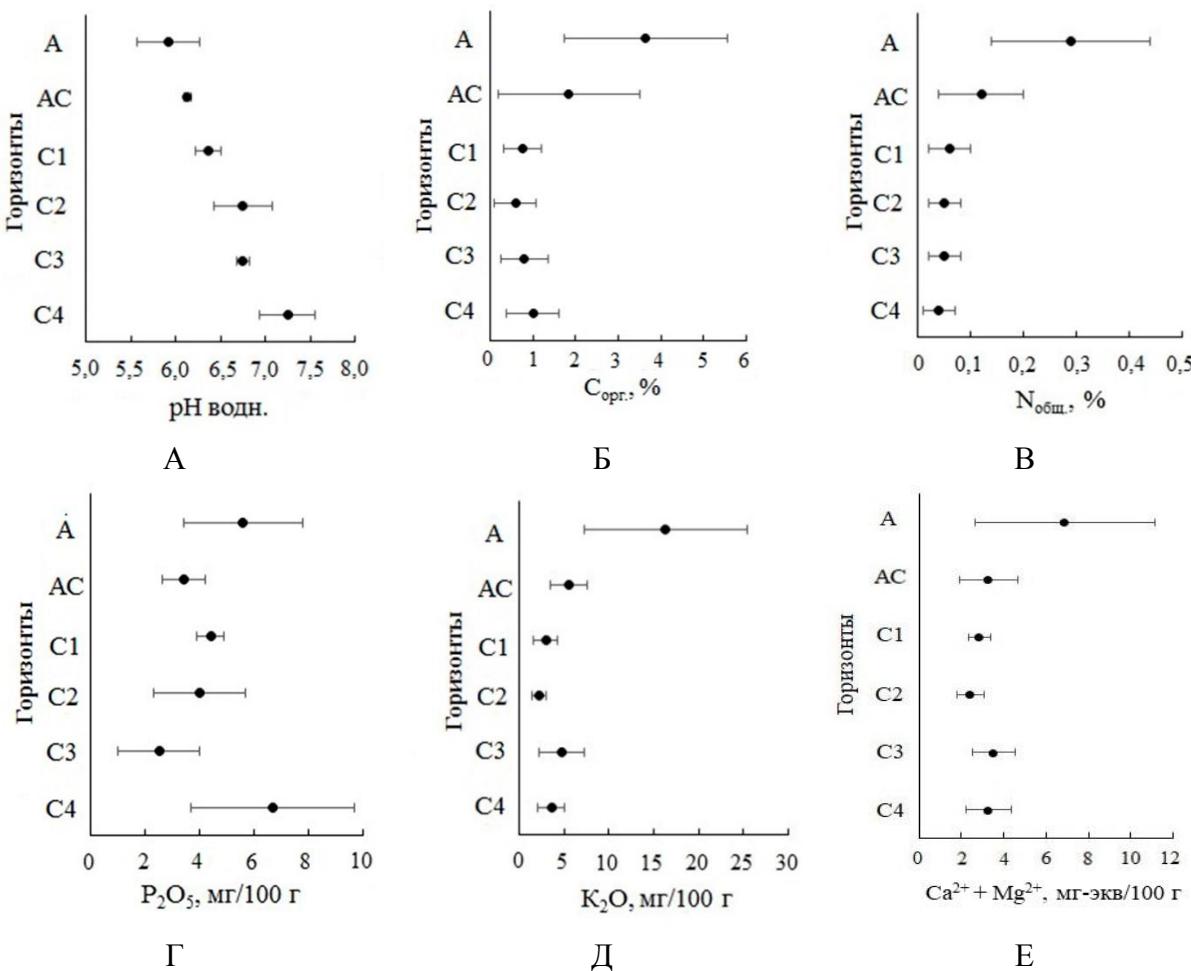


Рис. 1. Среднестатистические характеристики эмбриоземов золоотвала  
 Fig. 1. Average statistical characteristics of ash dump Technosols

В верхней 20-сантиметровой толще зольного субстрата, которая наиболее всего затронута процессами почвообразования, в распределении общего количества органического углерода и азота фиксируются максимумы их накопления в слое 0–2 см (табл. 6), в большинстве случаев наблюдается подкисление реакции среды, а также относительно пониженное содержание валовых форм фосфора, калия, кальция и магния в горизонтах С1 и (или) С2.

Таблица 6  
 Table 6

pH и валовое содержание элементов в эмбриоземах золоотвала СУГРЭС  
 pH and total content of elements in Technosols of SUTPP ash dump

Горизонт	Глубина, см	рН <sub>Н2О</sub>	Валовое содержание элементов, %					
			C <sub>орг.</sub>	N <sub>общ.</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
<i>Разрез 1-19</i>								
A	0–2	6,32	5,12	0,43	0,33	0,89	5,15	2,16
AC	2–7	6,12	3,73	0,21	0,20	1,51	4,32	1,21
C1	7–13	6,20	1,25	0,11	0,11	1,33	3,88	0,83
C2	13–20	6,37	1,16	0,09	0,13	1,28	4,92	1,14
<i>Разрез 2-19</i>								
A	0–2	5,67	1,48	0,13	0,20	1,65	4,23	1,11
AC	2–7	6,17	0,62	0,05	0,18	1,52	4,31	1,12
C1	7–13	6,45	0,51	0,04	0,18	1,39	4,04	1,12
C2	13–20	7,00	0,29	0,03	0,19	1,26	5,04	1,20
<i>Разрез 3-19</i>								
A	0–2	5,77	4,31	0,31	0,23	1,17	4,62	1,55
AC	2–7	6,10	1,17	0,10	0,21	1,09	5,22	1,60
C1	7–13	6,43	0,47	0,04	0,17	0,97	5,48	1,59
C2	13–20	6,87	0,30	0,04	–	1,44	4,53	1,41

Максимальное количество гуминовых кислот в основном приходится на гумусовый горизонт эмбриоземов, их доля в составе гумуса лежит в пределах 14–19 % (табл. 7). Содержание фульвокислот превышает таковое гуминовых кислот, гумус в зольном субстрате, служащем почвообразующей породой (горизонты С1 и С2), имеет фульватный состав, однако в горизонте А он меняется на гуматно-фульватный за счет более высокого накопления гуминовых кислот.

В профилях эмбриоземов лугового участка золоотвала (табл. 7) в качестве тенденции прослеживается аккумуляция в гумусовом горизонте (а в некоторых случаях и в переходном к породе горизонте – АС) подвижных форм фосфора и калия, а также обменных катионов кальция и магния, среди которых доля первого в 1,4 раза и более превышает долю второго.

Сопоставление основных показателей вещественного состава формирующихся молодых почв с таковыми зольного субстрата позволило выявить процессы, протекающие на начальных этапах почвообразования под луговыми сообществами золоотвала: подкисление реакции среды почвенного профиля, а также накопление биогенных элементов в гумусовом горизонте, что происходит, как очевидно, за счет фиксации растениями (С) или микроорганизмами (N) из воздуха, либо благодаря биогенному перераспределению входящих в состав компонентов золы элементов (P, K, Ca и Mg).

Таблица 7  
Table 7Содержание гумусовых веществ, подвижных и обменных форм элементов  
в эмбриоземах золоотвала СУГРЭС

Content of humus substances, mobile and exchange forms of elements in SUTPP ash dump Technosols

Горизонт	Глубина, см	Доля ГК %	С <sub>ГК</sub> :С <sub>ФК</sub>	Содержание элементов			
				P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
				подвижные, мг/100 г	обменные, мг-экв/100 г		
<b>Разрез 1-19</b>							
A	0–2	18,5	0,73	5,3	25,5	8,7	2,7
AC	2–7	6,0	0,49	2,5	6,9	3,7	1,0
C1	7–13	6,2	0,39	4,4	3,3	2,2	1,0
C2	13–20	3,1	0,26	6,0	3,1	2,5	0,3
<b>Разрез 2-19</b>							
A	0–2	17,2	0,50	7,9	7,4	2,2	0,8
AC	2–7	7,2	0,19	4,0	3,2	1,2	0,8
C1	7–13	8,1	0,29	4,0	1,5	1,8	0,7
C2	13–20	8,9	0,27	3,3	1,5	1,8	0,3
<b>Разрез 3-19</b>							
A	0–2	13,5	0,69	3,6	16,1	4,7	1,5
AC	2–7	14,2	0,48	3,6	6,3	2,2	1,0
C1	7–13	11,8	0,45	4,9	4,0	1,7	1,2
C2	13–20	5,6	0,21	2,8	2,1	1,7	0,7

Эмбриоземы золоотвала по сравнению с верхней 20-сантиметровой толщиной фоновых дерново-подзолистых почв вторичных лугов на момент исследования характеризовались (рис. 2) более щелочной реакцией среды и существенно меньшим средневзвешенным содержанием общего органического углерода и общего азота, обменных Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup>, неизначительно меньшим – подвижных форм фосфора, но при этом несколько большей величиной подвижных форм калия.

### Заключение

На 50-летнем золоотвале СУГРЭС в условиях южной тайги в ходе первичной сукцессии по восстановлению зональной лесной растительности сформировались разнотравно-злаковые луговые сообщества, отличающиеся от вторичных послелесных лугов более низкими видовым богатством и видовой насыщенностью, а также значительно меньшими запасами надземной фитомассы.

Несмотря на неоднородность физико-химических свойств зольного субстрата, в верхней 20-сантиметровой толще золоотвала сформировались морфологически сходные молодые почвы (эмбриоземы), в которых четко прослеживается маломощный (2 см) горизонт А, по слабому более темному оттенку – горизонт АС, мощностью в 2,5 раза больше, чем предыдущий, а также горизонт С, который неоднороден по всем изученным показателям вещественного состава.

В процессе почвообразования в гумусовом и переходном горизонтах эмбриоземов по сравнению с золой, служащей почвообразующей породой, произошла аккумуляция биогенных элементов (C, N, P, K, Ca и Mg), а также подкисление реакции среды, что в целом согласуется с данными, полученными для инициальных почв золоотвалов в других биоклиматических условиях. В горизонте А также увеличилась доля гуминовых кислот в составе гумуса, имеющего гуматно-фульвватный тип. В то же время содержание всех изу-

ченных элементов (за исключением калия) в эмбриоземах, сформированных на 50-летнем золоотвале, по сравнению с фоновыми почвами вторичных лугов существенно ниже.

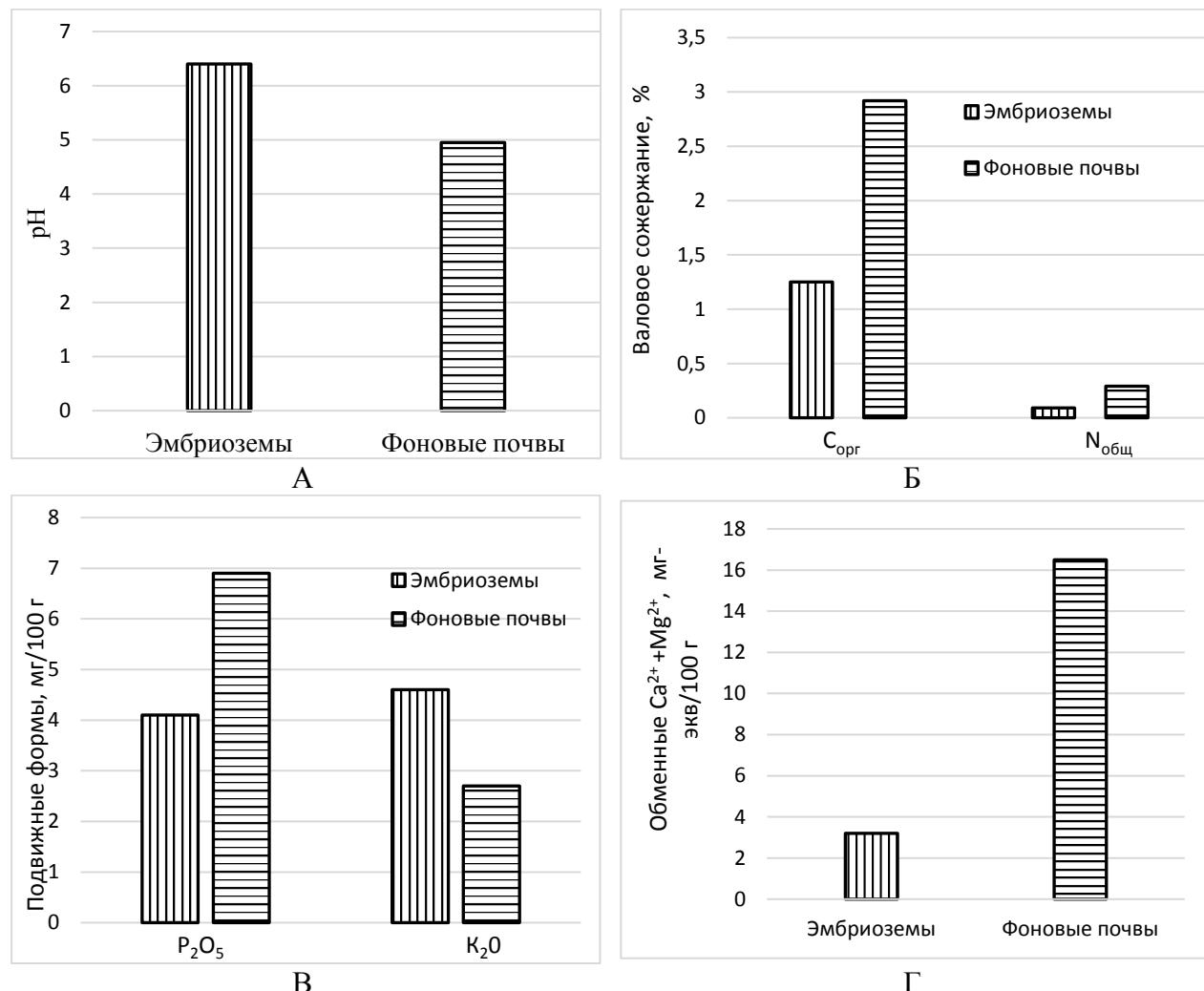


Рис. 2. Средневзвешенные физико-химические характеристики эмбриоземов золоотвала СУГРЭС и фоновых почв

Fig. 2. Weighted average physical and chemical characteristics of SUTPP ash dump Technosols and background soils

Представленные данные, характеризующие становление растительных сообществ и трансформацию 50-летнего золоотвала в южно-таежных условиях Среднего Урала, показали, что в течение этого периода при самозарастании золоотвалов происходит преобразование их верхней 20-сантиметровой толщи с появлением слабодифференцированных морфологически, но дифференцированных более четко по аналитическим показателям инициальных почв – эмбриоземов – и изменением в процессе выветривания более глубоких слоев золы. Эти материалы могут служить отправной точкой мониторинга почвообразовательного процесса на золоотвалах Среднего Урала, которые ранее с позиций комплексных почвенно-растительных подходов не изучались.

Накопление данных, характеризующих растительные сообщества и почвы, формирующиеся на разновозрастных золоотвалах со специфичным химическим составом золы, расположенных в различных природно-климатических условиях, позволит в конечном итоге прогнозировать скорость формирования экосистем в техногенных ландшафтах и влиять на их преобразование.

## Список источников

1. Аринушкина Е.В. 1970. Руководство по химическому анализу почв. Москва, Изд-во МГУ, 488 с.
2. Воробьева Л.А. 2006. Теория и практика химического анализа почв. М., ГЕОС, 400 с.
3. Климатические данные городов по всему миру. Электронный ресурс. URL: <http://ru.climate-data.org> (дата обращения: 07.07.2021).
4. World Reference Base for Soil Resources. 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 2015. Rome, Food and agriculture organization of the United Nations, 192 pp.

## Список литературы

1. Гаджиев И.М., Курачев В.М. 1992. Генетические и экологические аспекты исследования и классификация почв техногенных ландшафтов. В кн.: Экология и рекультивация техногенных ландшафтов. Новосибирск, Наука: 6–15.
2. Гафуров Ф.Г. 2008. Почвы Свердловской области. Екатеринбург, Изд-во Уральского Университета, 396 с.
3. Константинов А.О., Новоселов А.А., Лойко С.В. 2018. Особенности процессов почвообразования на участках самозарастающих золоотвалов твердотопливной теплоэлектростанции. Вестник Томского государственного университета. Биология, 43: 6–24. DOI: 10.17223/19988591/43/1.
4. Лукина Н.В., Чибрик, Т.С., Глазырина М.А., Филимонова, Е.И. 2019. Динамика восстановления растительности и микоризы на рекультивированных и нерекультивированных участках золоотвала Верхнетагильской ГРЭС (Средний Урал). Экосистемы, 20: 188–196.
5. Махнев А.К., Чибрик Т.С., Трубина М.Р., Лукина Н.В., Гебель Н.Э., Терин А.А., Еловиков Ю.И., Топорков Н.В. 2002. Экологические основы и методы биологической рекультивации золоотвалов тепловых электростанций на Урале. Екатеринбург, Уральское отделение РАН, 356 с.
6. Пасынкова М.В. 1974. Зола углей как субстрат для выращивания растений. Растения и промышленная среда, 3: 29–44.
7. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. 1968. Методика и некоторые результаты фракционирования гумуса черноземов. Почвоведение, 11: 104–117.
8. Раменский Л.Г., Цаценкин И.А., Чижиков О.Н., Антипов Н.А. 1956. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М., Сельхозгиз, 472 с.
9. Чибрик Т.С., Лукина Н.В., Филимонова Е.И., Глазырина М.А. 2011. Экологические основы и опыт биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель. Екатеринбург, Изд-во Урал, 268 с.
10. Шеремет Н.В., Ламанова Т.Г., Дороныкин В.М., Ветлужских Н.В. 2018. Формирование растительности при естественном застарении золоотвалов на юге Западной Сибири. Растительный мир азиатской России, 4 (32): 95–101. DOI: 10.21782/RMAR1995-2449-2018-4(95-101).
11. Chibrik T.S., Lukina N.V., Filimonova E.I., Glazyrina M.A., Rakov E.A., Maleva M.G., Prasad M.N.V. 2016. Biological Recultivation of Mine Industry Deserts: Facilitating the Formation of Phytocoenosis in the Middle Ural Region, Russia. Bioremediation and Bioeconomy, 389–418. DOI: 10.1016/B978-0-12-802830-8.00016-2.
12. Chu L.M. 2008. Natural revegetation of coal fly ash in a highly saline disposal lagoon in Hong Kong. Applied Vegetation Science, 11 (3): 297–306. DOI: 10.3170/2008-7-18427.
13. Gajic G., Djurdjevic L., Kostic O., Jaric S., Mitrovic M., Pavlovi P. 2018. Ecological Potential of Plants for Phytoremediation and Ecorestoration of Fly Ash Deposits and Mine Wastes. Frontiers in Environmental Science, 6: 124 p. DOI: 10.3389/fenvs.2018.00124.
14. Jambhulkar H.P., Juwarkar A.A. 2009. Assessment of bioaccumulation of heavy metals by different plant species grown on fly ash dump. Ecotoxicology and Environmental Safety, 72 (4): 1122–1128. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2008.11.002.

15. Kostic O., Mitrovic M., Knezevic M., Jaric S., Gajic G.M., Durdevic L, Pavlovic P. 2012. The potential of four woody species for the revegetation of fly ash deposits from the 'Nikola Tesla' thermoelectric plant (Obrenovac, Serbia). *Archives of Biological Sciences*, 64 (1): 145–158. DOI: 10.2298/ABS1201145K.
16. Mustafa B, Hajdari A, Krasniqi F, Morina I, Riesbeck F, Sokoli A. 2012. Vegetation of the ash dump of the "Kosova A" power plant and the slag dump of the "Ferronikeli" Smelter in Kosovo. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, 4 (9): 823–834.
17. Nekrasova O., Radchenko T., Filimonova E., Lukina N., Glazyrina M., Dergacheva M., Uchaev A., Betekhtina A. 2020. Natural forest colonization and formation on ash dump in southern taiga. *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*, 62 (4): 306–316. DOI: 10.2478/ffp-2020-0029.
18. Pandey V.C. 2015. Assisted phytoremediation of fly ash dumps through naturally colonized plants. *Ecological Engineering*, 82: 1–5. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2015.04.002.
19. Pandey V.C., Bajpai O., Singh N. 2016. Plant regeneration potential in fly ash ecosystem. *Urban Forestry & Urban Greening*, 15: 40–44. DOI: 10.1016/j.ufug.2015.11.007.
20. Pandey V.C., Prakash P., Bajpai O., Kumar A., Singh N. 2015. Phytodiversity on fly ash deposits: evaluation of naturally colonized species for sustainable phytoremediation. *Environmental Science and Pollution Research*, 22 (4): 2776–2787. DOI: 10.1007/s11356-014-3517-0
21. Pandey V.C., Singh K., Singh R.P., Singh B. 2012. Naturally growing *Saccharum munja* L. on the fly ash lagoons: a potential ecological engineer for the revegetation and stabilization. *Ecological Engineering*, 40: 95–99. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2011.12.019.
22. Pandey V.C., Singh N. 2014. Fast green capping on coal fly ash basins through ecological engineering. *Ecological Engineering*, 73: 671–675. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2014.09.036.
23. Pandey V.C., Singh N., Singh R.P., Singh D.P. 2014. Rhizoremediation potential of spontaneously grown *Typha latifolia* on fly ash basins: study from the field. *Ecological Engineering*, 71: 722–727. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2014.08.002.
24. Shaheen S.M., Hooda P.S., Tsadilas C.D. 2014. Opportunities and challenges in the use of coal fly ash for soil improvements—a review. *Journal of environmental management*, 145: 249–267. DOI: 10.1016/j.jenvman.2014.07.005.
25. Uzarowicz L, Skibab M, Leuec M, Zagorskia Z, Gąsinskid A, Trzciskie J. 2018a. Technogenic soils (Technosols) developed from fly ash and bottom ash from thermal power stations combusting bituminous coal and lignite. Part II. Mineral transformations and soil evolution. *Catena*, 162: 255–269. DOI: 10.1016/j.catena.2017.11.005.
26. Uzarowicz L. 2018. A sequence of Technosols developed from ashes from "Pątnow" and "Konin" thermal power stations (central Poland) combusting lignite. In: *Soil Sequences Atlas*. Toruń, Machina Druku: 217–228.
27. Uzarowicz L., Kwasowski W., Spiewak O., Switonik M. 20186. Indicators of pedogenesis of Technosols developed in an ash settling pond at the Belchatow thermal power station (central Poland). *Soil Science Annual*, 69 (1): 49–59. DOI: 10.2478/ssa-2018-0006.
28. Uzarowicz L., Zagorski Z. 2015. Mineralogy and chemical composition of technogenic soils (Technosols) developed from fly ash and bottom ash from selected thermal power stations in Poland. *Soil Science Annual*, 66 (2): 82–91. DOI: 10.1515/ssa-2015-0023.
29. Uzarowicz L., Zagorski Z., Mendak E., Bartminski P., Szara E., Kondras M., Oktaba L., Turek A., Rogozinski. 2017. Technogenic soils (Technosols) developed from fly ash and bottom ash from thermal power stations combusting bituminous coal and lignite. Part I . Properties, classification, and indicators of early pedogenesis. *Catena*, 157: 75–89. DOI: 10.1016/j.catena.2017.05.010.
30. Weber J., Strączynska S., Kocowicz A., Gilewska M., Bogacz A., Gwizdz M., Debicka M. 2015. Properties of soil materials derived from fly ash 11 years after revegetation of post-mining excavation. *Catena*, 133: 250–254. DOI: 10.1016/j.catena.2015.05.016.

## References

1. Gadzhiev I.M., Kurachev V.M. 1992. Geneticheskie i e`kologicheskie aspekty` issledovaniya i klassifikaciya pochv texnogenny`x landshaftov [Genetic and ecological aspects of research and classification of soils of technogenic landscapes]. In: E`kologiya i rekul`tivaciya texnogenny`x landshaftov [Ecology and recultivation of technogenic landscapes]. Novosibirsk, Pabl. Nauka: 6–15.

2. Gafurov F.G. 2008. Pochvy Sverdlovskoj oblasti [Soils of the Sverdlovsk region]. Ekaterinburg, Pabl. Uralskogo Universiteta, 396 p.
3. Konstantinov A.O., Novoselov A.A., Loiko S.V. 2018. Special Features of Soil Development Within Overgrowing Fly Ash Deposit Sites of the Solid Fuel Power Plant. Tomsk State University Journal of Biology, 43: 6–24. DOI: 10.17223/19988591/43/1 (in Russian).
4. Lukina N.V., Chibrik T.S., Glazyrina M.A., Filimonova E.I. 2019. The Dynamics of Vegetation and Mycorrhizal Restoration on Recultivated and Non-Recultivated Sites of the Ash Dump. Ekosistems, 20: 188–196 (in Russian).
5. Maxnev A.K., Chibrik T.S., Trubina M.R., Lukina N.V., Gebel N.E., Terin A.A., Elovikov Yu.I., Toporkov N.V. 2002. E`kologicheskie osnovy` i metody` biologicheskoye rekul`tivacii zolootvalov teplovoy`x e`lektrostancij na Urale [Ecological bases and methods of biological reclamation of ash dumps of thermal power plants in the Urals]. Ekaterinburg, Pabl. Ural'skoe otdelenie RAN, 356 p.
6. Pasy`nkova M.V. 1974. Zola uglej kak substrat dlya vy`rashhivaniya rastenij [Coal ash as a substrate for growing plants]. Rasteniya i promy`shlennaya sreda, 3: 29–44.
7. Ponomareva V.V., Plotnikova T.A. 1968. Metodika i nekotorye rezul'taty frakcionirovaniya gumusa chernozemov [Methodology and some results of fractionation of humus in chernozems]. Pochvovedenie, 11: 104–117.
8. Ramenskij L.G., Czacenkin I.A., Chizhikov O.N., Antipin N.A. 1956. E`kologicheskaya ocenka kormovy`x ugodij po rastitel`nomu pokrovu [Ecological assessment of forage lands by vegetation cover]. Moskow, Pabl. Selhozgiz, 472 p.
9. Chibrik T.S., Lukina N.V., Filimonova E.I., Glazyrina M.A. 2011. E`kologicheskie osnovy` i opy`t biologicheskoye rekul`tivacii narushenny`x promy`shlennost`yu zemel` [Ecological bases and experience of biological reclamation of lands disturbed by industry]. Ekaterinburg, Pabl. Ural, 268 p.
10. Sheremet N.V., Lamanova T.G., Doron'kin V.M., Vetluzhskih N.V. 2018. Formation of Vegetation of Natural Growing Over Ash Dumps in Southern West Siberia. Plant Life of Asian Russia, 4 (32): 95–101. DOI: 10.21782/RMAR1995-2449-2018-4(95-101) (in Russian).
11. Chibrik T.S., Lukina N.V., Filimonova E.I., Glazyrina M.A., Rakov E.A., Maleva M.G., Prasad M.N.V. 2016. Biological Recultivation of Mine Industry Deserts: Facilitating the Formation of Phytocoenosis in the Middle Ural Region, Russia. Bioremediation and Bioeconomy, 389–418. DOI: 10.1016/B978-0-12-802830-8.00016-2.
12. Chu L.M. 2008. Natural revegetation of coal fly ash in a highly saline disposal lagoon in Hong Kong. Applied Vegetation Science, 11 (3): 297–306. DOI: 10.3170/2008-7-18427.
13. Gajic G., Djurdjevic L., Kostic O., Jaric S., Mitrovic M., Pavlovi P. 2018. Ecological Potential of Plants for Phytoremediation and Ecorestoration of Fly Ash Deposits and Mine Wastes. Frontiers in Environmental Science, 6: 124. DOI: 10.3389/fenvs.2018.00124.
14. Jambhulkar H.P., Juwarkar A.A. 2009. Assessment of bioaccumulation of heavy metals by different plant species grown on fly ash dump. Ecotoxicology and Environmental Safety, 72 (4): 1122–1128. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2008.11.002.
15. Kostic O., MItrOVIC M., Knezevic M., Jaric S., Gajic G.M., Durdevic L, Pavlovic P. 2012. The potential of four woody species for the revegetation of fly ash deposits from the 'Nikola Tesla-a' thermoelectric plant (Obrenovac, Serbia). Archives of Biological Sciences, 64 (1): 145–158. DOI: 10.2298/ABS1201145K.
16. Mustafa B, Hajdari A, Krasniqi F, Morina I, Riesbeck F, Sokoli A. 2012. Vegetation of the ash dump of the "Kosova A" power plant and the slag dump of the "Ferronikeli" Smelter in Kosovo. Research Journal of Environmental and Earth Sciences, 4 (9): 823–834.
17. Nekrasova O., Radchenko T., Filimonova E., Lukina N., Glazyrina M., Dergacheva M., Uchaev A., Betekhtina A. 2020. Natural forest colonization and formation on ash dump in southern taiga. Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry, 62 (4): 306–316. DOI: 10.2478/ffp-2020-0029.
18. Pandey V.C. 2015. Assisted phytoremediation of fly ash dumps through naturally colonized plants. Ecological Engineering, 82: 1–5. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2015.04.002.
19. Pandey V.C., Bajpai O., Singh N. 2016. Plant regeneration potential in fly ash ecosystem. Urban Forestry & Urban Greening, 15: 40–44. DOI: 10.1016/j.ufug.2015.11.007.

20. Pandey V.C., Prakash P., Bajpai O., Kumar A., Singh N. 2015. Phytodiversity on fly ash deposits: evaluation of naturally colonized species for sustainable phytoremediation. *Environmental Science and Pollution Research*, 22 (4): 2776–2787. DOI: 10.1007/s11356-014-3517-0.
21. Pandey V.C., Singh K., Singh R.P., Singh B. 2012. Naturally growing *Saccharum munja* L. on the fly ash lagoons: a potential ecological engineer for the revegetation and stabilization. *Ecological Engineering*, 40: 95–99. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2011.12.019.
22. Pandey V.C., Singh N. 2014. Fast green capping on coal fly ash basins through ecological engineering. *Ecological Engineering*, 73: 671–675. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2014.09.036.
23. Pandey V.C., Singh N., Singh R.P., Singh D.P. 2014. Rhizoremediation potential of spontaneously grown *Typha latifolia* on fly ash basins: study from the field. *Ecological Engineering*, 71: 722–727. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2014.08.002.
24. Shaheen S.M., Hooda P.S., Tsadilas C.D. 2014. Opportunities and challenges in the use of coal fly ash for soil improvements—a review. *Journal of environmental management*, 145: 249–267. DOI: 10.1016/j.jenvman.2014.07.005.
25. Uzarowicz L., Skibab M., Leuec M., Zagorska Z., Gąsinska A., Trzcińskie J. 2018a. Technogenic soils (Technosols) developed from fly ash and bottom ash from thermal power stations combusting bituminous coal and lignite. Part II. Mineral transformations and soil evolution. *Catena*, 162: 255–269. DOI: 10.1016/j.catena.2017.11.005.
26. Uzarowicz L. 2018. A sequence of Technosols developed from ashes from “Pątnow” and “Konin” thermal power stations (central Poland) combusting lignite. In: *Soil Sequences Atlas*. Toruń, Machina Druku: 217–228.
27. Uzarowicz L., Kwasowski W., Spiewak O., Switoniak M. 2018b. Indicators of pedogenesis of Technosols developed in an ash settling pond at the Belchatow thermal power station (central Poland). *Soil Science Annual*, 69 (1): 49–59. DOI: 10.2478/ssa-2018-0006.
28. Uzarowicz L., Zagorski Z. 2015. Mineralogy and chemical composition of technogenic soils (Technosols) developed from fly ash and bottom ash from selected thermal power stations in Poland. *Soil Science Annual*, 66 (2): 82–91. DOI: 10.1515/ssa-2015-0023.
29. Uzarowicz L., Zagorski Z., Mendak E., Bartminski P., Szara E., Kondras M., Oktaba L., Turek A., Rogozinski. 2017. Technogenic soils (Technosols) developed from fly ash and bottom ash from thermal power stations combusting bituminous coal and lignite. Part I. Properties, classification, and indicators of early pedogenesis. *Catena*, 157: 75–89. DOI: 10.1016/j.catena.2017.05.010.
30. Weber J., Strączynska S., Kocowicz A., Gilewska M., Bogacz A., Gwizdz M., Debicka M. 2015. Properties of soil materials derived from fly ash 11 years after revegetation of post-mining excavation. *Catena*, 133: 250–254. DOI: 10.1016/j.catena.2015.05.016.

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

**Conflict of interest:** no potential conflict of interest related to this article was reported.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Петрова Татьяна Александровна**, аспирант кафедры экологии Департамента наук о Земле и космосе Института естественных наук и математики Уральского федерального университета им. первого Президента Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

**Некрасова Ольга Анатольевна**, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии Департамента наук о Земле и космосе Института естественных наук и математики Уральского федерального университета им. первого Президента Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Tatyana A. Petrova**, postgraduate student of the Department of Ecology, Department of Earth and Space Sciences of the Institute of Natural Sciences and Mathematics of the Ural Federal University named after the first President B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

**Olga A. Nekrasova**, candidate of Biological Sciences, associate Professor of the Department of Ecology of the Department of Earth and Space Sciences of the Institute of Natural Sciences and Mathematics of the Ural Federal University named after the first President B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

**Учаев Антон Павлович**, кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры экологии Департамента наук о Земле и космосе Института естественных наук и математики Уральского федерального университета им. первого Президента Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

**Дергачева Мария Ивановна**, профессор, доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории биогеоценологии Института почвоведения и агрохимии Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск, Россия; профессор кафедры почвоведения и экологии почв Биологического института Томского государственного университета, г. Томск, Россия

**Радченко Татьяна Александровна**, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии Департамента наук о Земле и космосе Института естественных наук и математики Уральского федерального университета им. первого Президента Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

**Бетехтина Анна Анатольевна**, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии Департамента наук о Земле и космосе Института естественных наук и математики Уральского федерального университета им. первого Президента Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

**Anton P. Uchaev**, candidate of Sciences in Biology, senior lecturer of the Department of Ecology, Department of Earth and Space Sciences of the Institute of Natural Sciences and Mathematics of the Ural Federal University named after the first President B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

**Maria I. Dergacheva**, professor, doctor of Biological Sciences, Chief Researcher of the Laboratory of Biogeocenology of the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia; professor of the Department of Soil Science and Soil Ecology of the Biological Institute of the Tomsk State University, Tomsk, Russia

**Tatyana A. Radchenko**, candidate of Biological Sciences, associate Professor of the Department of Ecology of the Department of Earth and Space Sciences of the Institute of Natural Sciences and Mathematics of the Ural Federal University named after the first President B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

**Anna A. Betekhtina**, candidate of Biological Sciences, associate Professor of the Department of Ecology of the Department of Earth and Space Sciences of the Institute of Natural Sciences and Mathematics of the Ural Federal University named after the first President B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia