

САМОЗАРАСТАНИЕ СОСНОЙ ОБЫКНОВЕННОЙ РЕКУЛЬТИВИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ ЗОЛОТОВАЛА

С. Л. Менщиков, П. Е. Мохначев, И. А. Неклюдов

Ботанический сад УрО РАН
ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук»
Российская Федерация, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 202а
E-mail: m.sergei1951@yandex.ru, mohnachev74@mail.ru, Neklyudov87@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследований особенностей процессов естественного зарастания сосной (*Pinus sylvestris* L.) рекультивированных территорий золоотвала № 2 Рефтинской ГРЭС. Исследованы участки, где биологический этап рекультивации включал нанесение слоя суглинка (20 см) и гидропосев многолетних трав. Показано, что через 8–12 лет после первого этапа биологической рекультивации наблюдается активное самозарастание древесными видами, преимущественно сосной (*Pinus sylvestris* L.), а также березой (*Betula pendula* Roth) и осинкой (*Populus tremula* L.).

Проведен анализ агрохимических свойств золы и почвогрунта, выявлено снижение щелочности (рН с 9,0–10,0 до 7,8–8,5) и накопление органического вещества в процессе сукцессии. Установлено, что химический состав субстрата не содержит токсичных концентраций тяжелых металлов, что делает возможным успешное восстановление растительного покрова.

Установлена важность начального этапа рекультивации (гидропосев с внесением удобрений) для ускорения естественного зарастания древесными видами и формирования устойчивых фитоценозов.

Ключевые слова: золоотвал, биологическая рекультивация, самозарастание, *Pinus sylvestris*, сукцессия, агрохимические свойства золы и почвогрунта, травосмеси.

Conifers of the boreal area. 2025, Vol. XLIII, No. 6, P. 74–79

SELF-OVERGROWING WITH COMMON PINE ON THE RECULTIVATED ASH DUMP AREA

S. L. Menshchikov, P. E. Mokhnachev, I. A. Neklyudov

Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
FGBUN “Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences”
202a, 8 Marta str., Yekaterinburg, 620144, Russian Federation
E-mail: m.sergei1951@yandex.ru, mohnachev74@mail.ru, Neklyudov87@mail.ru

*The article presents the results of studies of the features of natural overgrowth processes by pine (*Pinus sylvestris* L.) on the recultivated territories of the ash dump No. 2 Reftinskaya GRES. The sites where the biological stage of recultivation included applying a layer of loam (20 cm) and seeding perennial grasses were studied. It has been shown that 8–12 years after the first stage of biological recultivation, active self-overgrowing of woody species is observed, mainly pine (*Pinus sylvestris* L.), as well as birch (*Betula pendula* Roth) and aspen (*Populus tremula* L.).*

The analysis of agrochemical properties of ash and soil was carried out, a decrease in alkalinity (pH from 9.0–10.0 to 7.8–8.5) and accumulation of organic matter during the succession were revealed. It was found that the chemical composition of the substrate does not contain toxic concentrations of heavy metals, which makes possible the successful restoration of vegetation cover. The importance of the initial stage of recultivation (hydraulic sowing with fertilization) for accelerating the natural overgrowth of tree species and the formation of stable phytocenoses has been established.

Keywords: ash dump, biological recultivation, self-fertilization, *Pinus sylvestris*, succession, agrochemical properties of ash and soil, grass mixtures.

ВВЕДЕНИЕ

Тепловые электростанции, работающие на угле, оказывают негативное воздействие на природную среду выбросами в атмосферный воздух различных соединений – газообразные, в основном это диоксиды серы и углерода, а также большое количество золы. Опасность золоотвалов прежде всего связана с пыле-

нием и фильтрацией жидкой фазы в окружающую среду, а основное внимание в процессе эксплуатации и консервации (рекультивации) золоотвалов уделяется пылеподавлению, способы которого разнообразны – от периодического орошения сухих пляжей или орошения поверхности зольного поля закрепляющими химикатами до закрепления поверхности золоот-

вала почвогрунтом с последующим его залужением. Особый интерес представляет изучение естественных процессов самозарастания золоотвалов древесными породами, в частности сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), как перспективного этапа биологической рекультивации.

Известно, что чистые зольные субстраты отличаются низкой микробиологической активностью, недостаточной обеспеченностью биогенными элементами, особенно доступным азотом и неблагоприятными физико-химическими свойствами [Малева М. Г., Чукина Н. В., ... и др., 2022]. На Урале изучались опытные и производственные культурфитоценозы, созданные в 1989–1996 гг. на золоотвалах, расположенных в разных зонально-географических районах Урала, в частности в пределах таежной (Серовский, Нижнетуринский, Верхнетагильский, Березниковский золоотвалы) зоны и лесостепной (Южноуральский, Красногорский золоотвалы) зоны [Махнев, Чибрик и др., 2002]. Это позволило выявить некоторые закономерности формирования растительного покрова на золоотвалах Урала (Пикалова, Серая, Пасынкова и др., 1974), которые сводились к следующему:

- процесс естественного самозарастания на «чистой» золе очень замедлен;
- созданные культурфитоценозы стимулируют и ускоряют этот процесс, но неустойчивы, наблюдается быстрое выпадение и изреживание ряда высеванных культур и энергичное внедрение представителей дикорастущей флоры. Независимо от цели, с которой создается растительный покров, во всех случаях обязательно улучшение свойств золы как субстрата для произрастания растений. В обобщенном виде можно утверждать, что рекомендуются и используются следующие способы улучшения золы;
- внесение полного минерального удобрения с последующими ежегодными подкормками растений;
- покрытие золоотвалов органическим материалом (торф, обезвреженный ил очистных сооружений и др.), почвой или потенциально плодородным грунтом (наиболее подходят для этих целей четвертичные суглинки);
- полив золоотвалов сточными водами, прошедшими через очистные сооружения.

Колонизация растительностью золоотвалов наблюдается только через 8–10 лет после прекращения их использования за счет 2–3 особо устойчивых видов [Тарчешский, 1964; Махнев, Чибрик и др., 2002]. Большую проблему создают и пыльные бури на золоотвалах, оказывая негативное воздействие на окружающие природные экосистемы на территории, во много раз превосходящие площади отвалов. Поэтому такие отвалы нуждаются в первоочередной биологической рекультивации.

К настоящему времени накоплен некоторый опыт по реставрации и консервации золоотвалов. Первоначальные предложения некоторых авторов [Thomson, 1958] о необходимости нанесения на золоотвалы 60 см подпочвы и 30 см почвы с внесением удобрений были явно экономически не выгодны и поэтому в основе дальнейших разработок методов рекультивации прослеживается тенденция к использованию неболь-

шого слоя почвенного или торфяного покрытия (2–3 см), применения различных отходов, и выявлению наиболее устойчивого ассортимента видов растений, пригодных для выращивания на чистой золе или золе с минимальным внесением различных добавок [Чибрик, 1970; Менщиков и др., 2022; Лукина Н. В., Глазырина М.А., и др. 2024].

Т. А. Прозоровой (1996) предлагается объединить методы биологической рекультивации с оперативным пылеподавлением: посев проводится с последующим или одновременным нанесением на поверхность золоотвала полимерной пленки, состоящей из лигносульфоната, полиакриламида и других соединений. Указанные компоненты смеси сравнительно дешевы.

В процессе подбора ассортимента видов растений, пригодных для выращивания на зольном субстрате, испытывалось огромное число растений. В частности, на промышленных отвалах Урала были испытаны 297 видов, относящихся к 80 родам 22 семейств. Испытания показали, что лучшие показатели дали семена местных районированных сортов. Посевы бобовых способствуют более быстрому заселению золоотвала другими видами, чем посевы злаков, что свидетельствует о более быстром улучшении свойств субстрата под ними [Тарчешский, 1964]. Среди бобовых наиболее пригодны для посевов люцерна синегибридная, клевер красный и донник белый, среди злаков – костреч безостый, овсяница луговая и красная, регнерия омская, пырей бескорневищный, ползучий, сизый и гребенчатый и некоторые другие [Беспрозвана, 1964; Хамидулина, 1964; Власова, 1964]. Особенности лесохозяйственного направления рекультивации изучались на золоотвале № 1 Рефтинской ГРЭС. Установлено, что после внесения суглинка или плодородного слоя, высаженные древесные виды вполне успешно произрастают в данных условиях [Махнев, Чибрик и др., 2002; Менщиков и др., 2022; Мигалина С. В., Калашникова И. В. и др.].

ЦЕЛЬ, МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследований расположен в подзоне Южной Тайги на Среднем Урале. Целью работы является изучение процессов естественного зарастания сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) рекультивированных территорий золоотвала № 2 Рефтинской ГРЭС, включая анализ агрохимических свойств субстрата, оценку динамики сукцессии растительности.

Проведено натурное обследование территории сухого складирования, изучено состояние почвогрунтов и состояние растительного покрова участков золоотвала № 2 Рефтинской ГРЭС, где биологический этап рекультивации выполнен 3–12 лет назад. Площадь золоотвала № 2 Рефтинской ГРЭС на Урале в границах отведенных участков под золоотвал и его сооружения составляет около 1293,01 га.

На золоотвале № 2 на участке сухого складирования после проведенных мероприятий по рекультивации определено содержание макро- и микроэлементов, pH золы и суглинка, Содержание подвижных форм тяжелых металлов – кадмия, кобальта, хрома, меди, железа, никеля, свинца, марганца и цинка было

определено методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии с помощью атомно-абсорбционным спектрофотометра novAA-300 (AnalyticJena, Германия).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Агрохимические показатели почвогрунтов и удобрения.

На суглинок глубиной 20 см выполнен гидропосев многолетних трав подобранного ассортимента устойчивых видов к зонально-климатическим условиям района и экологическим условиям золоотвала, смешивая с торфом, азотным удобрением (аммиачная

селитра) и водой. Общий вид участка после биологического этапа рекультивации показан на рис. 1.

Результаты изучения химических свойств почвогрунта и золы.

Изучение состояния почвогрунтов на участках золоотвала № 2 показало следующее: почвогрунт представляет собой слой суглинка 20 см (рис. 2).

Сверху суглинка обнаружен нанесенный ветром слой золы 1–3 см.

Содержание макро и микро элементов, а также pH золы и суглинка после проведенных мероприятий по рекультивации (фото10) представлены в табл. 1 и 2.



Рис. 1. Участок сухого складирования золоотвала № 2 через 8–12 лет после биологического этапа рекультивации, 2025 год



Рис. 2. Слой суглинка

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в почвогрунте и золе на участке рекультивации золоотвал № 2 мг/кг

№	Место отбора	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Mn
1	Свежая чистая зола	0,27	0,00	0,53	1,89	0,0	0,28	0,00	15
2	Чистая зола, самозарастание	0,39	0,26	0,74	0,59	31,6	0,00	0,00	11
3	Крупная фракция золы	0,43	0,21	1,29	1,89	17,4	2,03	0,22	19
4	Рекультивация 2–3 года, верх зола над суглинком	0,00	0,30	0,43	0,70	17,9	0,17	0,43	30
5	Рекультивация 2–3 года, зола под суглинком 40 см глубина	0,08	0,52	1,07	1,06	14,7	0,53	не обнар.	12
6	Рекультивация 10 лет, зола сверху 1–2 см	0,11	0,01	не обнар.	0,33	9,7	не обнар.	не обнар.	32
7	Рекультивация 10 лет, зола под суглинком	0,20	0,0	1,68	0,91	47,7	0,68	не обнар.	9
8	Рекультивация 2–3 года, суглинок 15 см	0,00	не обнар.	1,35	0,87	8,1	2,35	не обнар.	36
9	Рекультивация 10 лет, суглинок 20 см	0,09	не обнар.	2,07	1,03	12,6	0,36	не обнар.	17

Таблица 2

Содержание макро- и микроэлементов в почвогрунте и золе на участке рекультивации золоотвал № 2 мг/кг

№	Место отбора	pH	Na	Zn	Ca	K	Mg
1	Свежая чистая зола	10,0	127	0,927	1700	28,6	780
2	Чистая зола, самозарастание	9,5	70,8	0,975	715	35,2	261
3	Крупная фракция золы, в чистой золе, вдоль дороги на 4 ярус	9,5	148	1,79	2280	44,4	1100
4	Рекультивация 2–3 года, верх зола над суглинком	9,1	71,4	1,26	1450	63,1	529
5	Рекультивация 2–3 года, зола под суглинком 40 см глубина	9,3	97,6	0,901	2920	38,2	868
6	Рекультивация 10 лет, зола сверху 1–2 см	8,8	68,4	1,64	1750	70,9	471
7	Рекультивация 10 лет, зола под суглинком	8,9	78,8	0,828	2350	20,3	621
8	Рекультивация 2–3 года, суглинок 15 см	8,5	147	0,504	2620	29,1	806
9	Рекультивация 10 лет, суглинок 20 см	8,2	99,6	0,446	1830	33,4	687



Рис. 3. Самозарастание сосной после посева многолетников через 8–12 лет

Анализ свежей золы уноса показал очень высокие показатели pH = 10,1, однако, со временем, данный показатель снижается до pH = 7,8–8,5, особенно под

суглинком. Тяжелых металлов и щелочно-земельных элементов в токсичных для растений концентрациях не обнаружено, как и не обнаруживалось и на золоот-

вале № 1. Таким образом, химические анализы почвогрунта на рекультивированном участке золоотвала № 2 показали возможность проведения мероприятий по биологической санитарно-гигиенической рекультивации после закрытия золы суглинком. Свежая зола имеет очень высокую pH = 9–10,5. В связи с этим свежая зола сама по себе токсична для корневой системы большинства растений. После внесения суглинка показатель pH золы через 3–10 лет снижается до 8,2–8,8.

Видовое разнообразие растений на участке биологической рекультивации на золоотвале № 2, территория сухого складирования.

На участках рекультивации, где через 8–12 лет после посева многолетников из древесных видов преобладает самосев *Pinus sylvestris* L. (cop1), встречаются *Betula pendula* Roth (см. рис. 3). Плотность самозарастания сосной исследуемого участка золоотвала составила 3360 шт/га, средняя высота – 1,57 + –0,52 м, средний возраст – 7,39 + –1,18 лет, средний диаметр у корневой шейки – 4,54 + –1,79 см.

Кроме того, встречаются всходы *Betula pubescens* Ehrh и *Populus tremula* L.. Среди кустарников единично произрастают *Salix caprea* L. (sol), *Salix cinerea* L. (sol) и *Chamaecytisus ruthenicus* (Fisch. ex Wol.) Klásk. (sol). На поверхности сухого отвала не произрастают ни древесные виды, ни кустарники.

В травянистом ярусе в верхней части участка доминирует *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub (cop2), *Melilotus officinalis* (L.) Lam (cop1) *Festuca pratensis* Huds. (sp gr – cop1) и *Tanacetum vulgare* L. (cop1 – cop2), на откосе сухого отвала-гидропосеве преобладают *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub (cop1 – cop2), *Tanacetum vulgare* L. (cop1), *Artemisia absinthium* L. (cop1) и *Artemisia vulgaris* L. (sp – cop1). На поверхности сухого отвала обильно произрастает только *Melilotus officinalis* (L.) Lam. (cop2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Перечисленные мероприятия биологической рекультивации следует рассматривать как работы по обеспечению начальной фазы формирования растительного покрова на рекультивированных территориях. Последующие сукцессии, как показала практика, будут сопровождаться естественным внедрением в созданные после биорекультивации фитоценозы представителей местной флоры (в том числе и древесных видов) из прилегающих природных комплексов. Естественное зарастание дикорастущими видами происходит, как показано выше (золоотвал № 2) через 8–10 лет.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Малева М. Г., Чукина Н. В., Борисова Г. Г. и др. Влияние рекультивационных мероприятий на содержание биогенных элементов и продукционный процесс у *Listera ovata* (Orchidaceae) в условиях золоотвала // Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель: материалы XI Всерос. науч. конф. с междуна. участием, Сатка, 12–16 сентября 2022 г. Сатка : Изд-во «Принтоника», 2022. 299 с.

2. Махнев А. К., Чибрик Т. С., Трубина М. Р. и др. Экологические основы и методы биологической рекультивации тепловых электростанций на Урале. Екатеринбург : УрО РАН, 2002. 356 с.

3. Пикалова Г. М., Серая Г. П., Пасынкова М. В. и др. Некоторые закономерности формирования культурфитоценозов на золоотвалах ТЭЦ Урала // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1974. Сб. 3. С. 69–96.

4. Тарческий В. В. Промышленные отвалы и их освоение // Растительность и промышленное загрязнение. Свердловск : УФАН СССР, 1964. Вып. 4. С. 67–68.

5. Thomson H. W. Restoration of agricultural and other soils // Nature. 1958. P. 4606.

6. Чибрик Т. С. Влияние полива золы сточными водами на формирование побегов костра безостого и пырея ползучего на золоотвале Нижнетуринской ГРЭС // Охрана природы на Урале: Растительность и пром. загрязнения. Свердловск : УФАН СССР, 1970. Вып. 7. С. 140–143. 183 с.

7. Менщиков С. Л., Мухин В. А., Ташев А. Н. Диагностика негативных изменений в лесных экосистемах по выявлению техногенного нарушения и методов рекультивации нарушений земель // Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель : материалы XI Всерос. науч. конф. с междуна. участием, Сатка, 12–16 сентября 2022 г. Сатка : Изд-во «Принтоника», 2022. 299 с.

8. Прозорова Т. А. Фитомелиорация золоотвалов // Биологическая рекультивация нарушенных земель. Екатеринбург, 1996. С. 125–126.

9. Беспрозвана С. Я. Выращивание многолетних травянистых растений на рыхлых золоотвалах // Растения и пром. среда : сб. науч. тр. Свердловск : УрГУ, 1964. Вып. 1. С. 117–134.

10. Хамидулина М. В. Особенности роста и развития многолетних растений на плотных золоотвалах // Растения и пром. среда : сб. науч. тр. Свердловск : УРГУ, 1964. Вып. 1. С. 134–145.

11. Власова Г. М. Рост и развитие растений второго года жизни на золоотвале Березниковской ТЭЦ № 4 // Растения и пром. среда : сб. науч. тр. Свердловск : УРГУ, 1964. Вып. 1. С. 146–163.

12. Влияние зольного субстрата на функциональные параметры и биомассу *betulapendula roth* и *pinussylvestris* l. на ювенильной стадии онтогенетического развития, Растительность Байкальского региона и сопредельных территорий / С. В. Мигалина, И. В. Калашникова, Д. А. Ронжина, Л. А. Иванова // Материалы Всероссийской конференции с международным участием. Улан-Удэ, 2023. С. 63–67.

REFERENCES

1. Maleva M. G., Chukina N. V., Borisova G. G. i dr. Vliyanie rekultivacionnyh meropriyatij na sodержanie biogennyh elementov i produkcionnyj process u *Listera ovata* (Orchidaceae) v usloviyah zolootvala // Biologicheskaya rekultivaciya i monitoring narushennyh zemel : materialy XI Vseros. nauch. konf. s mezhdun. uchastiem, Satka, 12–16 sentyabrya 2022 g. Satka : Izd-vo «Printonika», 2022. 299 s.

2. Mahnev A. K., Chibrik T. S., Trubina M. R. i dr. *Ekologicheskie osnovy i metody biologicheskoy rekultivatsii teplovyh elektrostancij na Urale*. Ekaterinburg : UrO RAN, 2002. 356 s.
3. Pikalova G. M., Seraya G. P., Pasynkova M. V. i dr. *Nekotorye zakonomernosti formirovaniya kulturfitocenozov na zolootvalah TEC Urala // Rasteniya i promyshlennaya sreda*. Sverdlovsk, 1974. Sb. 3. S. 69–96.
4. Tarcheskij V. V. *Promyshlennye otvaly i ih osvoenie // Rastitelnost i promyshlennoe zagryazneniya*. Sverdlovsk : UFAN SSSR, 1964. Vyp. 4. S. 67–68.
5. Thomson H. W. *Restoration of agricultural and other soils // Nature*. 1958. P. 4606.
6. Chibrik T. S. *Vliyanie poliva zoly stochnymi vodami na formirovanie pobegov kostra bezostogo i pyreya polzuchego na zolootvale Nizhneturinskoj GRES // Ohrana prirody na Urale: Rastitelnost i prom. Zagryazneniya*. Sverdlovsk : UFAN SSSR, 1970. Vyp. 7. S. 140–143. 183 s.
7. Menshikov S. L., Muhin V. A., Tashev A. N. *Diagnostika negativnyh izmenenij v lesnyh ekosistemah po vyavleniyu tehnogennogo narusheniya i metodov rekultivatsii narushenij zemel // Biologicheskaya rekultivatsiya i monitoring narushennyh zemel : materialy XI Vseros. nauch. konf. s mezhdun. uchastiem, Satka, 12–16 sentyabrya 2022 g. Satka: Izd-vo «Printonika», 2022. 299 s.*
8. Prozorova T. A. *Fitomelioratsiya zolootvalov // Biologicheskaya rekultivatsiya narushennyh zemel*. Ekaterinburg, 1996. S. 125–126.
9. Besprozvana S. Ya. *Vyrashivanie mnogoletnih travyanistyh rastenij na ryhlyh zolootvalah // Rasteniya i prom. Sreda : Sb. nauch. tr. Sverdlovsk : UrGU, 1964. Vyp. 1. S. 117–134.*
10. Hamidulina M. V. *Osobennosti rosta i razvitiya mnogoletnih rastenij na plotnyh zolootvalah // Rasteniya i prom. Sreda : Sb. nauch. tr. Sverdlovsk : URGU, 1964. Vyp. 1. S. 134–145.*
11. Vlasova G. M. *Rost i razvitie rastenij vtorogo goda zhizni na zolootvale Bereznikovskoj TEC № 4 // Rasteniya i prom. Sreda : Sb. nauch. tr. Sverdlovsk : URGU, 1964. Vyp. 1. S. 146–163.*
12. Migalina S. V., Kalashnikova I. V., Ronzhina D. A., Ivanova L. A. *Vliyanie zolnogo substrata na funktsionalnye parametry i biomassu betulapendula roth i pinussylvestris l. na yuvenilnoj stadii ontogeneticheskogo razvitiya, Rastitelnost Bajkalskogo regiona i sopredelnyh territorij. materialy vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Ulan-Ude, 2023. S. 63–67.*

© Менщиков С. Л., Мохначев П. Е.,
Неклюдов И. А., 2025

Поступила в редакцию 22.09.2025
Принята к печати 02.12.2025