

ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛОТВАЛОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КАРБОНОВЫХ ФЕРМ

**С.В. Залесов[✉], К.А. Башегуров, А.Е. Осипенко,
Р.А. Осипенко, И.В. Предеина, В.В. Фомин**

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (УГЛТУ), Россия, 620100,
г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, д. 37

zalesovsv@m.usfeu.ru

Представлен анализ перспектив применения золоотвалов в целях создания карбоновых ферм, ориентированных на долговременное депонирование углерода и выращивание сосновой древесины. Приведена характеристика искусственных сосновых насаждений, созданных на рекультивированном золоотвале № 1 Рефтинской ГРЭС. Описаны особенности технологии рекультивации и проведенных лесоводственных мероприятий, включая процесс нанесения слоя почвогрунта и организации ухода за культурами в первые годы после посадки, что имеет ключевое значение для их успешного роста. Представлена схема размещения постоянных пробных площадей, обеспечившая возможность получения надежных данных о росте древостоев по запасу. Установлена динамика накопления депонированного углерода в биомассе сосновых древостоев. Оценена суммарная величина запаса углерода, формируемого сосновыми насаждениями на всей площади золоотвала (11,8 тыс. т). Установлено, что сосновые насаждения в надземной фитомассе к 30-летнему возрасту накапливают в древесине 107 т/га углерода при запасе древесины 290 м³/га. Выявлено, что среднегодовой прирост древесины в сосняках на золоотвале составляет 9,7 м³/га, что существенно превышает показатели естественных сосновых насаждений на сопредельных территориях. Рассмотрены особенности противопожарного устройства карбоновой фермы на золоотвале и обоснована неприемлемость устройства минерализованных полос. Изложены предложения по снижению пожарной опасности, включая прикатывание травы, обязательную обрезку нижних сучьев и организацию оперативного контроля за состоянием растительного покрова. Сделан вывод о высокой перспективности техногенных ландшафтов для решения задач климатической политики и развития лесных проектов по депонированию углерода.

Ключевые слова: нарушенные земли, золоотвалы, рекультивация, лесные культуры, сосна обыкновенная, депонирование углерода, карбоновые фермы

Ссылка для цитирования: Залесов С.В., Башегуров К.А., Осипенко А.Е., Осипенко Р.А., Предеина И.В., Фомин В.В. Перспективность использования золоотвалов для создания карбоновых ферм // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2026. Т. 30. № 1. С. 5–17. DOI: 10.18698/2542-1468-2026-1-5-17

В последние десятилетия наблюдаются процессы глобального изменения климата и связанные с ним политические процессы [1–3]. По данным работы [4], среднегодовая температура воздуха в Северном полушарии до середины XIX — начала XX вв. была отрицательной. Высокие темпы индустриализации и увеличение количества сжигаемых полезных ископаемых обусловили увеличение выбросов в атмосферу диоксида углерода и формирование в ней парниковых газов. Начиная с середины XX в. среднегодовая температура воздуха имеет положительное значение и стремительно увеличивается.

Большое значение для температурного баланса имеют лесные экосистемы, поскольку они поглощают парниковые газы, что замедляет

рост положительных значений среднегодовой температуры воздуха. Основную часть диоксида углерода поглощают древесные растения, которые в процессе фотосинтеза аккумулируют углерод в древесине [5–9].

В соответствии со Стратегией социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года [10] предусмотрено увеличение поглощающей способности управляемых экосистем более чем в 2,2 раза: с 535 в настоящее время до 1200 млн т СО₂-эквивалента к 2050 г. Уральским государственным лесотехническим университетом, оперативно интенсифицировавшим научную работу по данному направлению, заложено несколько новых карбоновых полигонов и ферм [11–13].

Основная цель карбоновых ферм заключается в создании растительных ассоциаций, обеспечивающих максимальное поглощение

диоксида углерода из атмосферного воздуха в процессе фотосинтеза и депонирование углерода в своих тканях. При этом следует учитывать, что значительный объем углерода, задепонированного травянистой растительностью уже на следующий год вновь поступает в атмосферу в виде диоксида углерода в результате разложения растительных остатков, и лишь незначительная часть остается задепонированной на несколько лет, поскольку формирует гумусовый горизонт почвы. В отличие от степной зоны в таежной зоне, где доминирует подзолистый тип почвообразования [14], формирование гумусового горизонта затруднено вследствие промывного режима, следовательно, доля депонирования углерода травянистыми сообществами относительно невелика.

Иная картина складывается в древесных насаждениях. Деревья депонируют углерод в своих тканях на достаточно длительный срок. В частности, продолжительность жизни дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) превышает 1000 лет, сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour.) — 600, сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) — 300 лет и т. д. [15]. Кроме того, после достижения деревьями количественной или технической спелости их можно использовать для получения пиломатериалов, плит, различного рода конструкций, что увеличивает продолжительность консервации в древесине углерода на неопределенно длительный период. Другими словами, создание карбоновых ферм на основе лесных культур в полной мере решает задачу депонирования углерода из атмосферного воздуха на длительный срок.

Создание карбоновых ферм на основе лесных культур имеет свои проблемы. Прежде всего, необходимы площади, которые требуется изъять из сельскохозяйственного пользования, что может привести к сокращению объемов получаемой сельскохозяйственной продукции, крайне нежелательному, как в экономическом, так и в социальном аспектах.

Создание карбоновых ферм на землях лесного фонда не актуально, поскольку на лесопригодных почвах уже произрастает или должна произрастать древесная растительность, что обусловлено нормативно-правовыми документами и, в частности, постановлением о компенсационном лесовосстановлении [16].

В частности, лесопользователь, арендующий участок лесного фонда в целях заготовки древесины, обязан обеспечить лесовосстановление на вырубке в кратчайшие сроки искусственным, комбинированным или естественным (мерами содействия) способами. Достаточно успешно естественным способом восстанавливаются гари, а в

случае сложности формирования на них молодых насаждений за счет самосева, передаются для компенсационного лесовосстановления организациям, учреждениям, частным лицам, которые вырубili насаждения в процессе прочих рубок, т. е. при расчистке площадей под линейные и площадные объекты. Другими словами, цель лесовосстановления на территориях лесного фонда отличается от цели, преследуемой при создании карбоновых ферм. Все создаваемые на не покрытых лесной растительностью землях насаждения, не зависимо от способа, в процессе фотосинтеза будут депонировать углерод из атмосферного воздуха.

Создание карбоновых ферм на землях поселений невозможно по причине их целевого назначения.

Таким образом, возможности плантационного выращивания древостоев на карбоновых фермах можно считать весьма ограниченными. Однако в большинстве субъектов Российской Федерации имеются значительные площади нарушенных земель, требующих проведения мероприятий по их рекультивации. Это дорогое мероприятие, но крайне необходимое, поскольку игнорирование нарушенных земель приводит к ухудшению экологической ситуации в том или ином регионе.

К настоящему времени накоплен значительный опыт в сфере рекультивации нарушенных земель. Среди основных направлений рекультивации можно отметить сельскохозяйственное, заключающееся в преобразовании нарушенных земель в пашни, сенокосы, пастбища в целях получения сельскохозяйственной продукции.

Рыбохозяйственное направление применимо при наличии карьеров, которые после заполнения водой можно использовать для разведения рыбы. Кроме того, карьерные выемки могут служить противопожарными водоемами.

Некоторые участки нарушенных земель используются под строительство линейных и площадных объектов, а также в рекреационных целях для обеспечения отдыха населения. Однако основным направлением рекультивации нарушенных земель является лесохозяйственное [17], т. е. выращивание на нарушенных ранее землях древесных насаждений.

Полагаем, что именно нарушенные земли могут быть основными для создания на них карбоновых ферм, что обеспечит не только депонирование значительных объемов углерода из атмосферного воздуха, но и решит задачи рекультивации, поскольку абсолютное большинство нарушенных земель было ранее изъято из лесного фонда. Создание карбоновых ферм повышает лесистость территории и улучшает экологическую обстановку в регионе.

Кроме того, создание карбоновых ферм на нарушенных землях связано с проблемой выбора древесных пород для лесовыращивания. Известно, что интегральным показателем экологического значения древесных насаждений является прирост древесины [18]. Именно прирост определяет объем выделяемого в процессе фотосинтеза кислорода и депонирования углерода. Логично, что при создании карбоновых ферм целесообразно использовать быстрорастущие древесные породы. Хотя это не всегда реально, поскольку значительный прирост древесины большинство быстрорастущих видов формирует только на высокотрофных почвах, обладающих высоким потенциальным плодородием. При рекультивации нарушенных земель невозможно гарантировать высокое плодородие почв, поскольку поверхность нарушенных земель представлена преимущественно не почвой, а материнской породой или отходами переработки полезных ископаемых.

Исходя из изложенного выше, для создания карбоновых ферм целесообразно использовать быстрорастущие местные виды древесных растений с низкими требованиями к плодородию почвы. В условиях Урала к таким видам относят сосну обыкновенную (*P. sylvestris* L.), которая даже в неблагоприятных лесорастительных условиях способна создавать высокопроизводительные устойчивые насаждения [19]. Некоторые ученые отмечают, что лучшая почва для сосны — это ее отсутствие.

Наряду с сосной обыкновенной можно использовать березу повислую (*Betula pendula* Roth) и березу пушистую (*B. Pubescens* Ehrh.), различные виды рода ив (*Salix* L.) и др. Выбор древесной породы зависит от физико-химического состава и влажности грунтов на каждом конкретном участке нарушенных земель.

При создании карбоновых ферм на нарушенных землях существенно проще поддается анализу объем депонируемого растительностью углерода, поскольку его депонирование начинается практически с нуля. На карбоновой ферме углерод консервируется не только надземными и подземными частями древесной растительности, но и другими компонентами формируемого насаждения, т. е. живым напочвенным покровом и подлеском. Кроме того, опад будет способствовать созданию лесной подстилки и гумусового горизонта, которых на нарушенных землях в момент создания карбоновых ферм просто не было. Другими словами, общий объем задепонированного растительностью углерода за какой-то временной период

будет равен сумме углерода, содержащегося в древесине, травянистой растительности, точнее в нижних ярусах растительности и в почве.

К сожалению, на Урале до последнего времени карбоновые фермы не создавались и практически отсутствуют публикации о депонировании углерода при создании лесных насаждений в процессе рекультивации нарушенных земель. При этом за последние десятилетия накоплен значительный опыт реализации лесохозяйственного направления рекультивации на различных видах нарушенных земель [20–24]. В процессе исследований нами предпринята попытка проанализировать объемы депонирования углерода в древесине при лесохозяйственном направлении рекультивации в целях определения перспективности создания карбоновых ферм на золоотвалах.

Цель работы

Цель работы — определение перспективности создания карбоновых ферм на золоотвалах в Средне-Уральском таежном лесном районе.

Объекты и методы исследования

Объектом исследований были выбраны искусственные насаждения сосны обыкновенной, произрастающие на рекультивированном золоотвале Рефтинской ГРЭС. Выбор золоотвала в качестве объекта для изучения перспективности создания карбоновых ферм обосновывается наличием такого вида нарушенных земель вблизи всех электростанций, работающих на твердом топливе, а также успешным опытом создания на золоотвалах лесных насаждений [25–29].

В процессе проведения рекультивационных работ на выровненную поверхность золоотвала был нанесен слой почвогрунта (вскрышных пород) толщиной 20...30 см. После выравнивания насыпного слоя на золоотвале создали чистые лесные культуры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.).

Посадка проводилась двухлетними сеянцами с открытой корневой системой в весенний период частично под меч Колесова, но в основном механизировано с использованием лесопосадочной машины.

В целях снижения потенциальной пожарной опасности создаваемых искусственных сосновых насаждений выполнялось прикатывание живого напочвенного покрова в междурядьях сразу после дождя катком-осветлителем, что способствовало перегниванию части растений и формированию лесной подстилки.



Рис. 1. Искусственное сосновое насаждение на золоотвале Рефтинской ГРЭС

Fig. 1. Artificial pine plantation at the Reftinskaya GRES power plant ash dump

Кроме того, по мере роста лесных культур осуществлялась обрезка нижних ветвей у деревьев в целях недопущения перехода потенциального низового пожара в верховой. Срезанные сучья собирались в кучи на безлесных участках и сжигались в пожароопасный период, что способствовало уменьшению напочвенных горючих материалов. Обрезка нижних ветвей и их ликвидация способствовали созданию паркового ландшафта с хорошей просматриваемостью, что обеспечивало привлекательные условия для рекреантов.

Повышенные меры пожарной безопасности объясняются возвышенным расположением золоотвала относительно окружающей местности, что способствует приходу пожаров с сопредельных территорий. Кроме того, снег на золоотвале сходит раньше, чем на прилегающих территориях, и напочвенные горючие материалы высыхают также быстрее, что обеспечивает на золоотвале увеличение продолжительности пожароопасного сезона. Кроме того, рекреационная привлекательность золоотвала обуславливает приток большого количества рекреантов, что приводит резкому росту потенциальных источников огня, а следовательно, и опасности возникновения пожаров. Не следует забывать, что насаждения на золоотвале

представлены чистыми сосняками, которые, как известно, характеризуются повышенной пожарной опасностью.

Лесные культуры сосны обыкновенной на золоотвале были созданы по единой технологии и одинаковым посадочным материалом в различные годы, что произвольно сформировало условия для анализа динамики основных таксационных показателей искусственных сосновых насаждений и, в частности, запаса древостоев.

В основу настоящих исследований положен метод закладки постоянных пробных площадей (ППП) в типичных местах в пределах таксационного выдела. Форма ППП, как правило, прямоугольная, размер варьировал от 0,21 до 0,30 га с таким расчетом, чтобы на каждой ППП было не менее 500 деревьев сосны обыкновенной. На всех ППП проводился сплошной перебор деревьев с измерением диаметров стволов мерной вилкой на высоте 1,3 м от поверхности земли.

Замер высоты деревьев выполняли у 20...25 деревьев с различным диаметром ствола пропорционально представительству каждой ступени толщины. Средняя высота дерева определялась графическим способом, средний таксационный диаметр ствола — через сумму площадей сечений [30–31]. Для определения

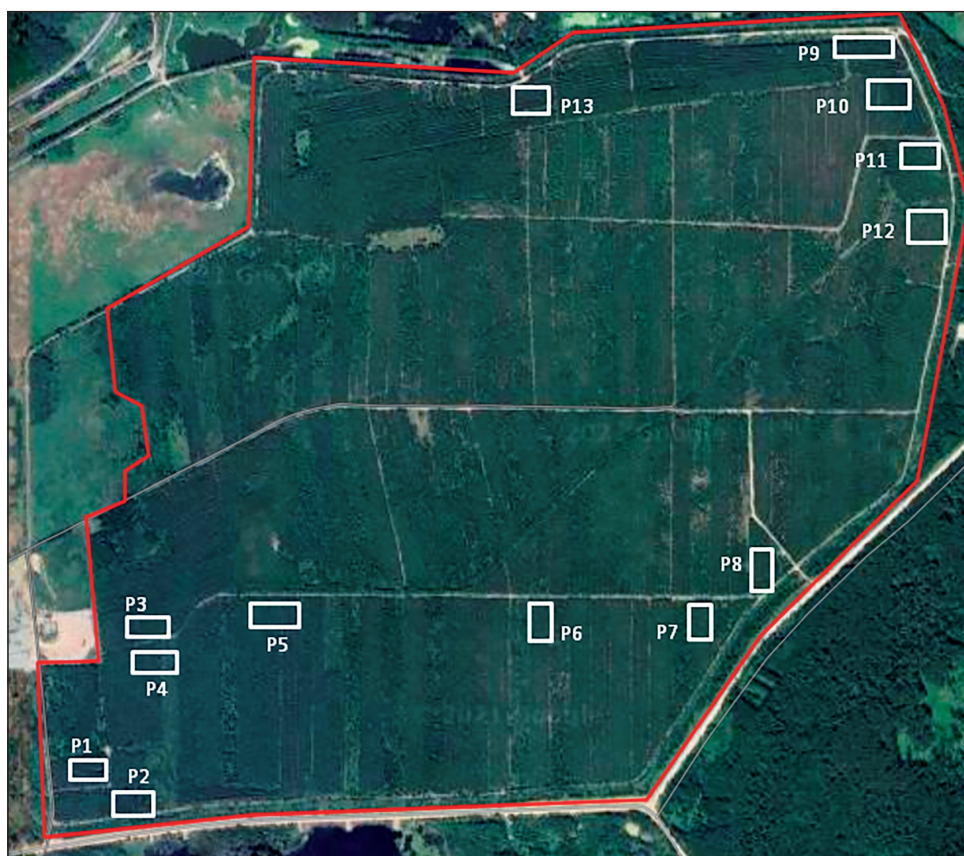


Рис. 2. Схема расположения пробных площадей на рекультивированном золоотвале: красной линией обозначен периметр участка рекультивированного золоотвала, занятого искусственными сосновыми насаждениями; белыми прямоугольниками обозначены примерные границы заложённых ППП; P1–P13 — код ППП

Fig. 2. Layout of sample plots at the reclaimed ash dump: the red line indicates the perimeter of the reclaimed ash dump area occupied by artificial pine plantations; the white rectangles indicate the approximate boundaries of the established PPP; P1–P13 are the PPP codes

запаса древостоя использовались таблицы объемов стволов в коре различных древесных пород [32].

Исследования на ППП выполняли в два этапа. В 2011 г. ППП в искусственных сосновых насаждениях, сформировавшихся на золоотвале, были заложены А.А. Териным под руководством профессора С.В. Залесова. В 2021 г. указанные ППП были восстановлены и дополнительно были заложены ППП в насаждениях других возрастов в целях установления динамики таксационных показателей. В настоящей работе в ходе анализа использовались данные ППП, полученные в ходе исследований А.А. Теринова, а также данные повторных исследований на ППП, заложённых А.А. Териновым, и новых ППП, заложённых авторами настоящей статьи.

Золоотвал № 1 Рефтинской ГРЭС находится на северо-востоке от пгт Рефтинский. Территория золоотвала относится к Сухоложскому

лесничеству Свердловской области. Площадь золоотвала до его рекультивации составляла 440 га [33]. В период с 1992 по 2005 гг. на золоотвале было создано 355 га лесных культур (преимущественно сосны обыкновенной). В настоящее время, по данным лесничества, площадь лесных культур на золоотвале составляет 352,2 га. Искусственные сосняки характеризуются Ia–II классами бонитета (рис. 1, 2).

Конверсионный коэффициент для расчета запаса углерода в биомассе древостоя по объёмному запасу древесины для сосняков золоотвала Рефтинской ГРЭС принят для молодняков, произрастающих в условиях южной тайги, как 0,370 [34].

Результаты и обсуждение

Данные по искусственным соснякам, произрастающим на рекультивированном золоотвале № 1 Рефтинской ГРЭС, приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

**Характеристика искусственных сосняков на рекультивированном
золоотвале № 1 Рефтинской ГРЭС**

Characteristics of artificial pine plantations at the reclaimed ash dump No. 1 at the Reftinskaya GRES power plant

Код ППП	Год посадки	Площадь, га	Год наблюдения	Возраст насаждения, лет	Запас древесины		Депонированный углерод	
					м³/га	м³	т/га	т
P1	1992	1,3	2011	20	141	183	52,2	68
			2021	30	290	377	107,3	139
P2	1994	1,1	2021	28	169	186	62,5	69
P9	1996	3,2	2011	16	75	240	27,8	89
			2021	26	195	624	72,2	231
P13	1997	16,0	2011	15	88	1408	32,6	521
			2021	25	137	2192	50,7	811
P3	1998	13,0	2021	24	161	2093	59,6	774
P8	1998	3,0	2021	24	170	510	62,9	189
P7	1999	18,4	2011	13	61	1122	22,6	415
			2021	23	188	3459	69,6	1280
P6	2000	20,0	2021	22	121	2420	44,8	895
P4	2001	24,0	2021	21	168	4032	62,2	1492
P5	2001	17,0	2021	21	162	2754	59,9	1019
P12	2002	13,0	2011	10	18	234	6,7	87
			2021	20	81	1053	30,0	390
P10	2003	31,5	2021	19	105	3308	38,9	1224
P11	2005	8,1	2011	7	3	24	1,1	9
			2021	17	68	551	25,2	204

Более подробная таксационная характеристика исследуемых лесных культур дана в работах [25, 33, 35]. На рекультивированном золоотвале ППП закладывались в том же квартале и выделе, что и в исследованиях А.А. Терина [33]. Данные были собраны авторами в 2021 г., А.А. Териним собраны данные в 2011 г.

Динамика накопления углерода в биомассе сосновых древостоев, произрастающих на рекультивированном золоотвале Рефтинской ГРЭС, представлена на рис. 3. Для аппроксимации данных использовался полином второй степени (стандартное уравнение программы Excel-2013), так как он вполне удовлетворительно справился с описанием опытных данных и показал довольно высокий коэффициент детерминации.

С помощью уравнения (см. рис. 3) и на основании данных о площади и возрасте лесных культур, созданных на рекультивированном золоотвале, нами предпринята оценка запаса

депонированного углерода на всей площади золоотвала по состоянию на 2024 г. (табл. 2). По нашей оценке, если бы исследуемые искусственные древостои полностью покрывали площадь золоотвала, то они накопили бы около 21,4 тыс. т углерода.

Однако в связи с тем, что большая часть лесных культур на золоотвале создавалась лентами с межленточными пространствами, приблизительно равными ширине лент культур, сосновые древостои покрывают около 55...60 % площади, на которой создавались лесные культуры. Межленточные пространства лесных культур заросли естественным путем кустарниковыми (преимущественно облепихой, ивой) и древесными (сосной, березой, осинкой и др.) породами. Таким образом, с учетом неравномерности распределения растительности необходимо скорректировать полученную нами оценку запаса углерода в фитомассе искусственных сосновых древостоев до 11,8 тыс. т.

Анализируя накопленный опыт по рекультивации золоотвалов, можно отметить, что сосновые насаждения, сформировавшиеся на золоотвале к 30-летнему возрасту накапливают запас 290 м³/га стволовой древесины. Это позволяет рекомендовать проведение не полосной, а сплошной рекультивации золоотвала, поскольку затраты окупятся в будущем за счет реализации выращенной и востребованной на рынке сосновой древесины. Особо следует отметить, что среднегодовой прирост древесины в насаждениях на золоотвале составляет 9,7 м³/га, что значительно превышает аналогичный показатель в естественных сосновых насаждениях, произрастающих на сопредельных с золоотвалом территориях.

Создание карбоновых ферм на золоотвалах полностью соответствует лесохозяйственному направлению рекультивации и требованиям компенсационного лесоразведения, а следовательно, может компенсировать изъятие земель под создание новых золоотвалов и других линейных и площадных объектов, для создания которых требуется удаление древесно-кустарниковой растительности. Кроме того, мировая общественность, озабоченная наблюдающимся изменением климата, пытается найти способы минимизации выброса парниковых газов в атмосферу. Поскольку основной причиной изменения климата является накопление в атмосферном воздухе парниковых газов, в том числе диоксида углерода, вводится понятие углеродной единицы, выражаемой в СО₂-эквивалента в тоннах (т СО₂-эквивалент). Предприятия, обеспечивающие депонирование в своей продукции углерода из атмосферного воздуха вправе продавать полученные углеродные единицы другим предприятиям, которые выбрасывают в атмосферу диоксид углерода, или компенсировать углеродными единицами выбросы своего предприятия.

Поскольку при создании карбоновых ферм на золоотвалах в процессе фотосинтеза растений изымается из атмосферного воздуха углерод и депонируется в древесине на неопределенно длительный срок сначала в древесине растущих деревьев, а затем в продукции ее переработки, предприятие, создавшее карбоновую ферму, может реализовать полученные углеродные единицы и получить дополнительный доход или компенсировать ущерб, наносимый природе в результате промышленных выбросов.

Полученные данные наглядно свидетельствуют о перспективности создания карбоновых ферм на бывших золоотвалах. При этом при техническом этапе рекультивации зола покры-

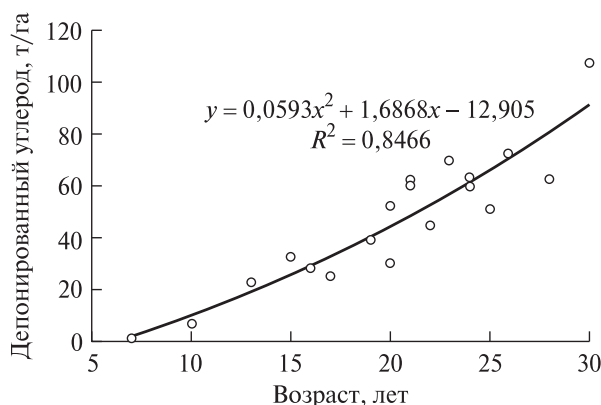


Рис. 3. Динамика накопления углерода в биомассе сосновых древостоев, произрастающих на рекультивированном золоотвале

Fig. 3. Dynamics of carbon accumulation in the biomass of pine stands growing at the reclaimed ash dump

вается слоем вскрышных пород или почвогрунта толщиной 20...30 см, после чего проводится посадка лесных культур сосны обыкновенной двухлетними сеянцами с применением лесопосадочных машин. Агротехнический уход чаще всего не требуется, поскольку накопление живого напочвенного покрова протекает медленно [36]. Лесоводственный уход также не требуется, так как самосев лиственных пород не является конкурентом созданным лесным культурам.

Последующее разрастание живого напочвенного покрова и подлеска благотворно влияет на формирование лесной подстилки и почвы, что также является направлением депонирования углерода.

При создании карбоновых ферм сосны обыкновенной на золоотвалах следует учитывать необходимость создания эффективно-противопожарного устройства. Золоотвалы представляют собой, как правило, плоские возвышения над окружающей территорией. Здесь изначально высыхают напочвенные материалы, отличающиеся высокой горючестью, создавая опасность возникновения пожара. Кроме того, накопление сухой травы в весенний и осенний периоды, низкоопущенные кроны деревьев сосны при рядовой посадке и возвышенное положение золоотвала придают ускорение продвижению пожара с сопредельных территорий.

При разработке проекта противопожарного устройства карбоновой фермы на золоотвале не рекомендуется проектировать прокладку минерализованных полос, что может привести к вскрытию золы и распространению пыления. Для предотвращения возможных низовых пожаров необходимо проводить полосное

Т а б л и ц а 2

Запас углерода в биомассе сосновых древостоев (квартал 107)**Carbon stock in the pine stands biomass (compartment 107)**

Номер выдела	Площадь, га	Год посадки	Возраст, лет	Депонированный углерод (аппроксимация)	
				т/га	т
1	3,9	1997	28	80,8	315
2	3,9	1998	27	75,9	296
3	16	1997	28	80,8	1293
4	3,2	1996	29	85,9	275
5	8,6	1998	27	75,9	652
6	13	1998	27	75,9	986
7	3,7	1993	32	101,8	377
8	1,3	1992	33	107,3	140
9	0,8	1996	29	85,9	69
10	1,1	1994	31	96,4	106
11	1,5	1998	27	75,9	114
12	3	1998	27	75,9	228
13	18,4	1999	26	71,0	1307
14	2	2000	25	66,3	133
15	20	2000	25	66,3	1327
16	2,7	2000	25	66,3	179
17	4,2	1999	26	71,0	298
18	5	2000	25	66,3	332
19	24	2001	24	61,7	1482
20	17	2001	24	61,7	1049
21	5	1999	26	71,0	355
22	23	2000	25	66,3	1526
23	27	2002	23	57,3	1546
24	13	2002	23	57,3	744
25	31,5	2003	22	52,9	1667
26	52	2004	21	48,7	2531
27	4,2	2005	20	44,6	187
28	35,1	2005	20	44,6	1564
29	8,1	2005	20	44,6	361
Итого:					21437

выкашивание травы либо прикатывание ее катком в дождливую погоду. Как показала практика, в результате трава начинает интенсивно перегнивать, что создает естественный противопожарный барьер, который легко задерживает продвижение низового пожара.

В целях недопущения развития низового пожара в верховой необходимо выполнить обрезку нижних сучьев до высоты 2...2,5 м. Обрезку следует проводить с таким расчетом, чтобы на момент обрезки сучьев необрезанной осталась

1/3 часть кроны. Срезанные сучья лучше всего измельчить в щепу с последующим размещением по площади, что ускорит формирование лесной подстилки.

Выводы

1. Нарушенные земли, в частности золоотвалы, могут стать базовой основой для создания карбоновых ферм, поскольку при этом решается несколько задач:

– депонирование в древесине, живом напочвенном покрове и других нижних ярусах растительности, а также в создаваемой лесной подстилке и гумусовом горизонте углерода, изымаемого из диоксида углерода, содержащегося в атмосферном воздухе в результате фотосинтеза;

– обеспечение рекультивации нарушенных земель и улучшение экологической обстановки в регионе;

– создание реальной возможности обеспечения компенсационного лесоразведения.

2. Доля задепонированного углерода только в древесине надземной части искусственных 30-летних сосновых насаждений, созданных на золоотвале, достигает 107 т углерода на 1 га площади.

3. Учитывая значительные площади золоотвалов, можно констатировать, что создание на их территории карбоновых ферм позволит внести существенный вклад в решение проблемы уменьшения количества диоксида углерода в атмосферном воздухе, т. е. в реализацию принятых страной обязательств по снижению уровня парниковых газов в атмосфере.

4. При создании искусственных сосновых насаждений на золоотвалах следует предусмотреть эффективное противопожарное устройство в целях недопущения гибели формируемых насаждений от лесных пожаров.

5. Учитывая, что депонирование углерода из атмосферного воздуха будет осуществляться на карбоновых фермах не только древостоем, но и другими компонентами насаждения (подростом, подлеском, живым напочвенным покровом, внеярусной растительностью, лесной подстилкой, почвой), исследования в данном направлении следует продолжить.

Список литературы

- [1] Иванова А.Ю., Дурманова Н.Д., Орлов М.П., Пиксеев К.В. Битва за климат: карбоновое земледелие как ставка России: экспертный доклад / под ред. А.Ю. Иванова, Н.Д. Дурманова. М.: ИД ВШЭ, 2021. 120 с.
- [2] Желдак В.И. Функционально-целевая «карбоновая» система объектов лесоводства углерододепонирующего и углеродоконсервационного назначения: ее формирование и использование // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование, 2022. № 4 (56). С. 47–73.
- [3] Зиновьева О.А. Правовое регулирование декарбонизации и охраны атмосферного воздуха в целях решения глобальной экологической проблемы изменения климата // Вестник Университета имени О.Е. Кутафина (МГЮА), 2022. № 5(93). С. 95–103.
- [4] Усольцев В.А. Депонирование углерода лесами Уральского региона России: (по состоянию Государственного учета лесного фонда на 2007 год). Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2018. 265 с.
- [5] Уфимцев В.И., Куприянов А.Н. Карбоновые фермы — отвалы угольных предприятий Кузбасса // Уголь, 2021. № 11. С. 56–60. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-11-56-60.
- [6] Малыш Е.В. Ренты карбоновых ферм на землях сельскохозяйственного назначения // Региональные проблемы преобразования экономики, 2021. № 10 (132). С. 58–65.
- [7] Сабиров А. Т., Шагидуллин Р.Р., Ульданова Р.А. Программа исследования аккумуляции углерода в лесных экосистемах // Российский журнал прикладной экологии, 2023. № (4), С. 4–11.
- [8] Fox J.F., Campbell J.E., Acton P.M. Carbon sequestration by reforesting legacy grasslands on coal mining sites // Energies, 2020, v. 13, no. 23, p. 6340. <https://doi.org/10.3390/en13236340>
- [9] Umeoka N., Ohazurike N.C., Mbagwu F.N. Restoration and revegetation of abandoned ex-stone quarry lands with tree species in Southeast Nigeria // J. of Agricultural and Environmental Science Research, 2024, v. 5, no. 1, pp. 23–40. <https://hummingbirdjournals.com/jaes/article/view/164>
- [10] Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года» от 29 октября 2021 года № 3052-р. URL: <http://government.ru/docs/43708/> (дата обращения 13.12.2024).
- [11] Залесов С.В., Фомин В.В., Платонов Е.П., Годовалов Г.А., Башегуров К.А., Сураев П.Н. Полигон «Урал-карбон» (Северка) // Леса России и хозяйство в них, 2021. № 3 (78). С. 4–14.
- [12] Рогачев В.Е., Агапитов Е.М., Фомин В.В., Суханов М.П., Рогачев Л.Е. Оценка запаса углерода в древостоях карбонового полигона Свердловской области на участке «Урал-Карбон» (Северка) // Леса России и хозяйство в них, 2022. № 4(83). С. 4–9.
- [13] Осипенко А.Е., Башегуров К.А., Корчагин И.Е., Панин И.А., Осипенко Р.А., Щепляин П.В., Искендерова Е.С., Котова В.С. Характеристика древесно-кустарниковой растительности, произрастающей на Исетском гранитном карьере // Леса России и хозяйство в них, 2022. № 3. С. 39–48.
- [14] Гафуров Ф.Г. Почвы Свердловской области. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2008. 396 с.
- [15] Атрохин В.Г., Солодухин Е.Д. Лесная хрестоматия. М.: Лесная пром-сть, 1988. 399 с.
- [16] Об утверждении Правил осуществления лесовосстановления или лесоразведения в случае, предусмотренном частью 4 статьи 63.1 Лесного кодекса Российской Федерации, о признании утратившим силу ...: Постановление Правительства РФ от 18.05.2022 г. № 897. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Docement/View/0001202205200025?index=9> (дата обращения 13.12.2024).
- [17] Луганский Н.А., Лопатин К.И., Луганский В.Н. Возврат земель после нефтегазодобычи. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2005. 62 с.
- [18] Тихонов А.С. Лесоводство. Калуга: Издательский педагогический центр «Гриф», 2005. 400 с.
- [19] Котова В.С., Корчагин И.Е., Розинкина Е.П., Петров А.И., Осипенко Р.А., Годовалов Г.А. Определение перспективности сосны обыкновенной (*Pinus*

- sylvestris* L.) для создания карбоновых ферм // Леса России и хозяйство в них, 2023. № 3 (86). С. 4–13.
- [20] Залесов С.В., Залесова Е.С., Зарипов Ю.В., Оплетев А.С., Толкач О.В. Рекультивация нарушенных земель на месторождении тантал-бериллия // Экология и промышленность России, 2018. Т. 22. № 12. С. 63–67. DOI: 10.18412/1816-0393-2018-12-63-67
- [21] Бачурина А.В., Залесов С.В., Толкач О.В. Эффективность лесной рекультивации нарушенных земель в зоне влияния медеплавильного производства // Экология и промышленность России, 2020. Т. 24. № 6. С. 61–71. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-6-67-71>
- [22] Zalesov S.V., Ayan S., Zalesova E.S., Opletaev A.S. Experiences on Establishment of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Plantation in Ash Dump Sites of Reftinskaya Power Plant, Russia // Alinteri Journal of Agriculture Sciences, 2020, 35 (1): xx-xx. Doi: 10/28955/alinterizbd.696559
- [23] Махнев А.К., Уманова Н.Е., Салихова Е.Р. Особенности формирования культур ценозов на золоотвале Рефтинской ГРЭС // Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2007. С. 478–497.
- [24] Петров А.И. Лесоводственная эффективность рекультивации дражных отвалов на Урале: дис. ... канд. с.-х. наук (спец. 4.1.6). Екатеринбург, 2025, 168 с.
- [25] Залесов С.В., Залесова Е.С., Зверев А.А., Оплетев А.С., Терин А.А. Формирование искусственных насаждений на золоотвале Рефтинской ГРЭС // ИзВУЗ «Лесной журнал», 2013. № 2. С. 66–73.
- [26] Haynes R.J. Reclamation and revegetation of fly ash disposal sites Challenges and research needs // J. of Environmental Management, 2009, v. 90, no 1, pp. 43–53. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.003>
- [27] Gajić G., Djurdjević L., Kostić O., Jarić S., Mitrović M., Pavlović P. Ecological Potential of Plants for Phytoremediation and Ecorestoration of Fly Ash Deposits and Mine Wastes // Frontiers in Environmental Science, 2018, v. 6, no. article 124. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00124>
- [28] Upadhyay S.K., Edrisi S.A. Developing sustainable measures to restore fly ash contaminated lands: current challenges and future prospects // Land Degradation and Development, 2021, v. 32, no.17, pp. 4817–4831. <https://doi.org/10.1002/ldr.4090>
- [29] Jain, S., Tembhurkar, A.R. Sustainable amelioration of fly ash dumps linking bio-energy plantation, bioremediation and amendments: A review // J. of Environmental Management, 2022, v. 314, no. article 115124. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115124>
- [30] ОСТ 56-99-93 Лесные культуры. Оценка качества. М.: ВНИИЦлесресурс, 1993. 38 с.
- [31] ОСТ 56-69-83 Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. М.: Экология, 1992. 17 с.
- [32] Нагимов З.Я., Лысов Л.А., Коростелев И.Ф., Соколов С.В., Соловьев В.М., Фимушин Б.С., Шевелина И.В., Анчугова Г.В. Нормативно-справочные материалы по таксации лесов Урала. Екатеринбург: Изд-во УГЛУ, 2002. 160 с.
- [33] Терин А.А. Формирование лесных насаждений на мелиорированных землях в подзоне лесостепи для сосновых и березовых лесов Свердловской области: дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург, 2014. 134 с.
- [34] Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов: приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 27 мая 2022 года № 371. URL: <https://docs.cntd.ru/document/350962750> (дата обращения 13.12.2024).
- [35] Махнев А.К., Чибрик Т.С., Трубина М.Р., Лукина Н.В., Гебель Н.Э., Терин А.А., Еловигов Ю.И., Топорков Н.В. Экологические основы и методы биологической рекультивации золоотвалов тепловых электростанций на Урале. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2002. 356 с.
- [36] Осипенко Р.А., Осипенко А.Е., Корчагин И.Е., Зведенинова Е.В., Клинов А.С. Характеристика живого напочвенного покрова под пологом искусственных сосняков, произрастающих на рекультивированном золоотвале Рефтинской ГРЭС // J. of Agriculture and Environment, 2024. № 2 (42). Ст. 6. <https://doi.org/10.23649/JAE.2024.42.8>

Сведения об авторах

Залесов Сергей Вениаминович  — д-р с.-х. наук, профессор, зав. кафедрой лесоводства, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (УГЛУТУ), zalesovsv@m.usfeu.ru

Башегуров Константин Андреевич — канд. с.-х. наук, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (УГЛУТУ), bashegurovka@m.usfeu.ru

Осипенко Алексей Евгеньевич — канд. с.-х. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (УГЛУТУ), osipenkoae@m.usfe.ru

Осипенко Регина Александровна — канд. с.-х. наук, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (УГЛУТУ), osipenkora@m.usfe.ru

Предина Ирина Владимировна — докторант, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (УГЛУТУ)

Фомин Валерий Владимирович — д-р биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (УГЛУТУ), fominvv@m.usfeu.ru

Поступила в редакцию 10.07.2025.

Одобрено после рецензирования 15.09.2025.

Принята к публикации 27.11.2025.

PERSPECTIVE USE OF ASH DUMP TO CREATE CARBON FARMS

S.V. Zalesov✉, K.A. Bashegurov, A.E. Osipenko,
R.A. Osipenko, I.V. Predeina, V.V. Fomin

Ural State Forestry University, 37, Sibirsky tract st., 620100, Ekaterinburg, Russia

zalesovsv@m.usfeu.ru

An analysis of the prospects for using ash dump areas to establish carbon farms aimed at long-term carbon sequestration and the production of Scots pine timber is presented. Characteristics of artificial pine stands created on the reclaimed ash dump no. 1 of the Reftinskaya State District Power Plant are provided. The specific features of the reclamation technology and silvicultural measures are described, including the application of a soil cover layer and the organization of early-stage stand tending, which plays a key role in ensuring successful plantation establishment. A layout of permanent sample plots is presented, enabling the acquisition of reliable data on stand growth and timber stock. The dynamics of carbon accumulation in the biomass of pine stands are identified. The total carbon stock formed by pine plantations across the entire ash dump area (11,8 thousand tons) is estimated. It is shown that by the age of 30 years, the above-ground phytomass of pine stands accumulates 107 t/ha of carbon in wood at a timber stock of 290 m³/ha. The mean annual increment of 9,7 m³/ha in ash-dump pine stands significantly exceeds that of natural pine forests in adjacent territories. Specific aspects of wildfire protection for a carbon farm established on an ash dump are examined, and the inadmissibility of creating mineralized firebreaks on such substrates is substantiated. Recommendations to reduce fire hazard are proposed, including grass rolling, obligatory pruning of lower branches, and operational monitoring of the vegetation cover. The study concludes that technogenic landscapes offer high potential for addressing climate policy objectives and for developing forest-based carbon sequestration projects.

Keywords: technogenic landscapes, ash dump, reclamation, forest plantations, Scots pine, carbon sequestration, carbon farm

Suggested citation: Zalesov S.V., Bashegurov K.A., Osipenko A.E., Osipenko R.A., Predeina I.V., Fomin V.V. *Perspektivnost' ispol'zovaniya zolootvalov dlya sozdaniya karbonovykh ferm* [Perspective use of ash dump to create carbon farms]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2026, vol. 30, no. 1, pp. 5–17.

DOI: 10.18698/2542-1468-2026-1-5-17

References

- [1] Ivanova A.Yu., Durmanova N.D., Orlov M.P., Piksendeev K.V. *Bitva za klimat: karbonovoe zemledelie kak stavka Rossii: ekspertnyy doklad* [Battle for the climate: carbon farming as Russia's bet: expert report]. Edi A.Yu. Ivanov, N.D. Durmanov. Moscow: Izd. dom Vysshey shkoly ekonomiki [Publishing house of the Higher School of Economics], 2021, 120 p.
- [2] Zheldak V.I. *Funktsional'no-tselevaya «karbonovaya» sistema ob'ektov lesovodstva uglerododeponiruyushchego i uglerodokonservatsionnogo naznacheniya: ee formirovanie i ispol'zovanie* [Functional-target «carbon» system of forestry objects for carbon sequestration and carbon conservation purposes: its formation and use]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser: Lec. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature Management], 2022, no. 4 (56), pp. 47–73.
- [3] Zinov'eva O.A. *Pravovoe regulirovanie dekarbonizatsii i okhrany atmosfernogo vozdukha v tselyakh resheniya global'noy ekologicheskoy problemy izmeneniya klimata* [Legal regulation of decarbonization and protection of atmospheric air in order to solve the global environmental problem of climate change]. *Vestnik Universiteta imeni O.E. Kutafina (MGYuA)* [Bulletin of the O.E. Kutafina (MSAL)], 2022, no. 5 (93), pp. 95–103.
- [4] Usol'tsev V.A. *Deponirovanie ugleroda lesami Ural'skogo regiona Rossii: (po sostoyaniyu Gosudarstvennogo ucheta lesnogo fonda na 2007 god)* [Carbon Sequestration by Forests of the Ural Region of Russia: (according to the State Forest Fund Accounting for 2007)]. Yekaterinburg: USLTU, 2018, 265 p.
- [5] Ufimtsev V.I., Kupriyanov A.N. *Karbonovye fermy — otvaly ugol'nykh predpriyatiy Kuzbassa* [Carbon Farms — Dumps of Kuzbass Coal Enterprises]. *Ugol'*, 2021, no. 11, pp. 56–60. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-11-56-60.
- [6] Malysh E.V. *Renty karbonovykh ferm na zemlyakh sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya* [Carbon farm rents on agricultural lands]. [Regional problems of economic transformation], 2021, no. 10 (132), pp. 58–65.
- [7] Sabirov A.T., Shagidullin R.R., Ul'danova R.A. *Programma issledovaniya akkumulyatsii ugleroda v lesnykh ekosistemakh* [Program for studying carbon accumulation in forest ecosystems]. *Rossiyskiy zhurnal prikladnoy ekologii* [Russian J. of Applied Ecology], 2023, no. (4), pp. 4–11.
- [8] Fox J.F., Campbell J.E., Acton P.M. Carbon sequestration by reforesting legacy grasslands on coal mining sites. *Energies*, 2020, v. 13, no. 23, p. 6340. <https://doi.org/10.3390/en13236340>
- [9] Umeoka N., Ohazurike N.C., Mbagwu F.N. Restoration and revegetation of abandoned ex-stone quarry lands with tree species in Southeast Nigeria. *J. of Agricultural and Environmental Science Research*, 2024, v. 5, no. 1, pp. 23–40. <https://hummingbirdjournals.com/jaesr/article/view/164>

- [10] *Strategiya sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii s nizkim urovnem vybrosov parnikovyykh gazov do 2050 goda» ot 29.10.2021 № 3052-r* [Strategy for the socio-economic development of the Russian Federation with low greenhouse gas emissions until 2050, dated October 29, 2021, no. 3052-r]. Available at: <http://government.ru/docs/43708/> (accessed 13.12.2024).
- [11] Zalesov S.V., Fomin V.V., Platonov E.P., Godovalov G.A., Bashegurov K.A., Suraev P.N. *Poligon «Ural-karbon» (Severka)* [The Ural-Carbon polygon (Severka)]. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and their management], 2021, no. 3 (78), pp. 4–14.
- [12] Rogachev V.E., Agapitov E.M., Fomin V.V., Sukhanov M.P., Rogachev L.E. *Otsenka zapasa ugleroda v drevostoyakh karbonovogo poligona Sverdlovskoy oblasti na uchastke «Ural-Karbon» (Severka)* [Assessment of carbon stock in forest stands of the carbon polygon of the Sverdlovsk region on the Ural-Carbon site (Severka)]. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and their management], 2022, no. 4 (83), pp. 4–9.
- [13] Osipenko A.E., Bashegurov K.A., Korchagin I.E., Panin I.A., Osipenko R.A., Shcheplyain P.V., Iskenderova E.S., Kotova V.S. *Kharakteristika drevesno-kustarnikovoy rastitel'nosti, proizrastayushchey na Isetskoy granitnoy kar'ere* [Characteristics of tree and shrub vegetation growing in the Isetsky granite quarry]. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and their management], 2022, no. 3, pp. 39–48.
- [14] Gafurov F.G. *Pochvy Sverdlovskoy oblasti* [Soils of the Sverdlovsk Region]. Yekaterinburg: Publishing house of the Ural University, 2008, 396 p.
- [15] Atrokhin V.G., Solodukhin E.D. *Lesnaya khrestomatiya* [Forest anthology]. Moscow: Lesnaya prom-st' [Forestry Industry], 1988, 399 p.
- [16] *Ob utverzhdenii Pravil osushchestvleniya lesovosstanovleniya ili lesorazvedeniya v sluchae, predusmotrennom chast'yu 4 stat'i 63.1 Lesnogo kodeksa Rossiyskoy Federatsii, o priznanii utrativshim silu ...: Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 18.05.2022 g. № 897* [On approval of the Rules for the implementation of reforestation or afforestation in the case provided for in Part 4 of Article 63.1 of the Forest Code of the Russian Federation, on recognizing as invalid ...: Resolution of the Government of the Russian Federation of 18.05.2022, no. 897]. Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202205200025?index=9> (accessed 13.12.2024).
- [17] Luganskiy N.A., Lopatin K.I., luganskiy V.N. *Vozvrat zemel' posle neftegazodobychi* [Return of lands after oil and gas production]. Yekaterinburg: USLTU, 2005, 62 p.
- [18] Tikhonov A.S. *Lesovodstvo* [Forestry]. Kaluga: Publishing Pedagogical Center «Grif», 2005, 400 p.
- [19] Kotova V.S., Korchagin I.E., Rozinkina E.P., Petrov A.I., Osipenko R.A., Godovalov G.A. *Opreделение perspektivnosti sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) dlya sozdaniya karbonovykh ferm* [Determining the prospects of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) for the creation of carbon farms]. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and their management], 2023, no. 3 (86), pp. 4–13.
- [20] Zalesov S.V., Zalesova E.S., Zaripov Yu.V., Opletaev A.S., Tolkach O.V. *Rekul'tivatsiya narushennykh zemel' na mestorozhdenii tantal-berilliya* [Reclamation of disturbed lands at a tantalum-beryllium deposit]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2018, v. 22, no. 12, pp. 63–67. DOI: 10.18412/1816-0393-2018-12-63-67
- [21] Bachurina A.V., Zalesov S.V., Tolkach O.V. *Effektivnost' lesnoy rekul'tivatsii narushennykh zemel' v zone vliyaniya medeplavil'nogo proizvodstva* [Efficiency of forest reclamation of disturbed lands in the zone of influence of copper smelting production]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2020, v. 24, no. 6, pp. 61–71. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-6-67-71>
- [22] Zalesov S.V., Ayan S., Zalesova E.S., Opletaev A.S. Experiences on Establishment of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Plantation in Ash Dump Sites of Reftinskaya Power Plant, Russia. *Alinteri Journal of Agriculture Sciences*, 2020, 35 (1): xx-xx. Doi: 10/28955/alinterizbd.696559
- [23] Makhnev A.K., Umanova N.E., Salikhova E.R. *Osobennosti formirovaniya kul'tur tsenozov na zoolotvale Reftinskoy GRES* [Features of the formation of cenosis cultures on the ash dump of the Reftinskaya GRES]. *Biologicheskaya rekul'tivatsiya i monitoring narushennykh zemel'* [Biological reclamation and monitoring of disturbed lands]. Ekaterinburg: Ural University Press, 2007, pp. 478–497.
- [24] Petrov A.I. *Lesovodstvennaya effektivnost' rekul'tivatsii drazhnykh otvalov na Urale* [Silvicultural efficiency of dredging dump reclamation in the Urals]. Diss. Cand. Sci. (Agric.). Ekaterinburg, 2025, 168 p.
- [25] Zalesov S.V., Zalesova E.S., Zverev A.A., Opletaev A.S., Terin A.A. *Formirovanie iskusstvennykh nasazhdeniy na zoolotvale Reftinskoy GRES* [Formation of artificial plantations on the ash dump of the Reftinskaya GRES]. *Russian Forestry J.*, 2013, no. 2, pp. 66–73.
- [26] Haynes R.J. Reclamation and revegetation of fly ash disposal sites Challenges and research needs. *J. of Environmental Management*, 2009, v. 90, no 1, p. 43–53. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.003>
- [27] Gajić G., Djurdjević L., Kostić O., Jarić S., Mitrović M., Pavlović P. Ecological Potential of Plants for Phytoremediation and Ecorestoration of Fly Ash Deposits and Mine Wastes. *Frontiers in Environmental Science*, 2018, v. 6, no. article 124. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00124>
- [28] Upadhyay S.K., Edrisi S.A. Developing sustainable measures to restore fly ash contaminated lands: current challenges and future prospects. *Land Degradation and Development*, 2021, v. 32, no.17, pp. 4817–4831, <https://doi.org/10.1002/ldr.4090>
- [29] Jain, S., Tembhurkar, A.R. Sustainable amelioration of fly ash dumps linking bio-energy plantation, bioremediation and amendments: A review. *J. of Environmental Management*, 2022, v. 314, no. article 115124. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115124>
- [30] OST 56-99-93 *Lesnye kul'tury. Otsenka kachestva* [Forest crops. Quality assessment]. Moscow: VNIITslesresurs, 1993, 38 p.

- [31] OST 56-69-83 *Ploshchadi probnye lesoustroitel'nye* [Forest management trial areas. Method of laying out]. Moscow: Ecology, 1992, 17 p.
- [32] Nagimov Z.Ya., Lysov L.A., Korostev I.F., Sokolov S.V., Solov'ev V.M., Fimushin B.S., Shevelina I.V., Anchugova G.V. *Normativno-spravochnye materialy po taksatsii lesov Urala* [Normative and reference materials on forest taxation in the Urals]. Yekaterinburg: Ural State Forestry University, 2002, 160 p.
- [33] Terin A.A. *Formirovanie lesnykh nasazhdeniy na meliorirovannykh zemlyakh v podzone lesostepi dlya sosnovykh i berezovykh lesov Sverdlovskoy oblasti* [Formation of forest plantations on reclaimed lands in the forest-steppe subzone for pine and birch forests of the Sverdlovsk region]. Dis. Cand. Sci. (Agric.). Ekaterinburg, 2014, 134 p.
- [34] *Ob utverzhdenii metodik kolichestvennogo opredeleniya ob'emov vybrosov parnikovykh gazov i pogloshcheniy parnikovykh gazov: Prikaz Ministretva prirodnnykh resursov i ekologii Rossiyskoy Federatsii 27.05.2022 № 371* [On approval of methods for quantitative determination of greenhouse gas emissions and greenhouse gas absorption: Order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation dated May 27, 2022, no. 371]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/350962750> (accessed 13.12.2024).
- [35] Makhnev A.K., Chibrik T.S., Trubina M.R., Lukina N.V., Gebel' N.E., Terin A.A., Elovikov Yu.I., Toporkov N.V. *Ekologicheskie osnovy i metody biologicheskoy rekul'tivatsii zolootvalov teplovykh elektrostantsiy na Urale* [Ecological foundations and methods of biological reclamation of ash dumps of thermal power plants in the Urals]. Ekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2002, 356 p.
- [36] Osipenko R.A., Osipenko A.E., Korchagin I.E., Zvedeninova E.V., Klinov A.S. *Kharakteristika zhivogo napochvennogo pokrova pod pologom iskusstvennykh sosnyakov. proizrastayushchikh na rekultivirovannom zolootvale Reftinskoy GRES* [Characteristics of the living ground cover under the canopy of artificial pine forests growing on the reclaimed ash dump of Reftinskaya GRES]. J. of Agriculture and Environment, 2024, no. 2(42), art. 6. <https://doi.org/10.23649/JAE.2024.42.8>

Authors' information

Zalesov Sergey Veniaminovich  — Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Head of the Faculty of the Ural State Forestry University, zalesovsv@m.usfeu.ru

Bashegurov Konstantin Andreevich — Cand. Sci. (Agriculture), Ural State Forestry University, bashegurovka@m.usfeu.ru

Osipenko Aleksey Evgen'evich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Forestry, Ural State Forestry University, osipenkoae@m.usfe.ru

Osipenko Regina Aleksandrovna — Cand. Sci. (Agriculture), Ural State Forestry University, osipenkora@m.usfe.ru

Predeina Irina Vladimirovna — Doctoral Student, Ural State Forestry Engineering University

Fomin Valeriy Vladimirovich — Dr. Sci. (Biology), Associate Professor, Ural State Forestry University, fominvv@m.usfeu.ru

Received 10.07.2025.

Approved after review 15.09.2025.

Accepted for publication 27.11.2025.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article

The authors declare that there is no conflict of interest