*Оригинальная статья*

*Original Paper*

УДК 622.882(470.53):622.85 © И.В. Зеньков✉[1], А.С. Конде[2], Ю.П. Юронен[3], Е.В. Черепанов[4], Т.Н. Сизова[4], В.И. Афанасов[4], Ж.В. Миронова[4], Л.Н. Кузина[4], 2025

[1] Сибирский научно-исследовательский институт горного и маркшейдерского дела, 660025, г. Красноярск, Россия
[2] Компания RUSSKY ALUMINY LIMITED, Представительство в Гвинейской Республике, BP 6506, Конакри, Гвинейская Республика
[3] Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева, 660037, г. Красноярск, Россия
[4] Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, Россия
✉ e-mail: zenkoviv@mail.ru

UDC 622.882(470.53):622.85 © I.V. Zenkov✉[1], A.S. Conde[2], Yu.P. Yuronen[3], E.V. Cherepanov[4], T.N. Sizova[4], V.I. Afanasov[4], Zh.V. Mironova[4], L.N. Kuzina[4], 2025

[1] Siberian Research Institute of Mining and Surveying, Krasnoyarsk, 660025, Russian Federation
[2] RUSSKY ALUMINY LIMITED, Conakry, Representative Office in the Republic of Guinea, BP 6506, Republic of Guinea
[3] Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
[4] Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation
✉ e-mail: zenkoviv@mail.ru

# Технология горно-планировочных работ с совмещением с работами по горнотехнической рекультивации на внешних породных отвалах карьеров по добыче минерального сырья

## A mine planning technology combined with mine reclamation works on external rock dumps of mineral open-pit mines

DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2025-10-123-128

*В статье выполнено обоснование технологии изменения формы внешних породных отвалов, шахтных терриконов, отсыпанных в ходе добычи минерального сырья открытым и подземным способами. Разработанная технология, основанная на применении драглайна с электрическим приводом и увеличенными технологическими параметрами рабочего оборудования, в сравнении с гидравлическими экскаваторами позволяет высокоэффективно проводить специальные работы по изменению архитектуры внешних породных отвалов, шахтных терриконов с целью ускорения восстановления экологического баланса на их поверхностях.*

***Ключевые слова**: горнодобывающая промышленность, открытые горные работы, внешние породные отвалы, шахтные терриконы, горно-планировочные работы, горнотехническая рекультивация, потенциально плодородные породы, экология горного производства, эмиссия токсичных веществ в атмосферу.*

***Для цитирования:*** Технология горно-планировочных работ с совмещением с работами по горнотехнической рекультивации на внешних породных отвалах карьеров по добыче минерального сырья / И.В. Зеньков, А.С. Конде, Ю.П. Юронен и др. // Уголь. 2025;(10):123-128. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-10-123-128.

**ЗЕНЬКОВ И.В.**
*Доктор техн. наук, профессор, заместитель директора по научной работе, Сибирский научно-исследовательский институт горного и маркшейдерского дела, 660012, г. Красноярск, Россия, e-mail: zenkoviv@mail.ru*

**КОНДЕ А.С.**
*Горный инженер компании RUSSKY ALUMINY LIMITED, Представительство Гвинейской Республике, BP 6506, г. Конакри, Гвинейская Республика*

**ЮРОНЕН Ю.П.**
*Канд. техн. наук, доцент,*
*Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева,*
*660037, г. Красноярск, Россия*

**ЧЕРЕПАНОВ Е.В.**
*Канд. техн. наук, доцент,*
*Сибирский федеральный университет,*
*660041, г. Красноярск, Россия*

**СИЗОВА Т.Н.**
*Старший преподаватель,*
*Сибирский федеральный университет,*
*660041, г. Красноярск, Россия*

**АФАНАСОВ В.И.**
*Старший преподаватель,*
*Сибирский федеральный университет,*
*660041, г. Красноярск, Россия*

**МИРОНОВА Ж.В.**
*Канд. техн. наук, доцент,*
*Сибирский федеральный университет,*
*660041, г. Красноярск, Россия*

**КУЗИНА Л.Н.**
*Канд. экон. наук, доцент,*
*Сибирский федеральный университет,*
*660041, г. Красноярск, Россия*

**Abstract**
*The article provides justification for a technology for changing the shape of external rock dumps and mine spoil piles created while mining minerals using the surface and underground methods. The developed technology, based on application of an electrically driven dragline stripper with enhanced performance parameters of working attachments as compared to the hydraulic excavators, allows highly efficient performance of dedicated works on changing the surface topography of external rock dumps and mine spoil piles with the aim of accelerating restoration of the environmental balance on their surfaces.*

**Keywords**
*Mining industry, open-pit mining, external rock dumps, mine spoil piles, mine planning works, mine reclamation, potentially fertile rocks, mining ecology, emission of toxic substances into the atmosphere.*

**For citation**
Zenkov I.V., Conde A.S., Yuronen Yu.P., Cherepanov E.V., Sizova T.N., Afanasov V.I., Mironova, Zh.V., Kuzina L.N. A mine planning technology combined with mine reclamation works on external rock dumps of mineral open-pit mines. *Ugol'*. 2025;(10):123-128. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-10-123-128.

## ВВЕДЕНИЕ

На территории современной России открытые горные работы производятся на месторождениях минерального сырья, представленных широким спектром полезных ископаемых. По нашей оценке, проведенной с использованием информационного ресурса *www.google.com.earth*, в работе находятся немногим больше 600 карьеров с годовым объемом переработки горной массы более одного миллиона тонн, а отработанных карьеров насчитывается более четырехсот. В непосредственной близости от каждого карьера находятся от одного до десяти внешних отвалов с различными площадью основания и высотой. Кроме того, на территории европейской части России в одиннадцати угледобывающих регионах находятся более тысячи шахтных терриконов и более 800 открытых площадок с углепородной смесью. Большинство внешних породных отвалов находятся в том же виде, в котором они были оставлены после завершения работы карьеров. Аналогичная ситуация наблюдается на территории Гвинеи в регионах с открытыми горными работами. Породные отвалы, шахтные терриконы и открытые площадки с углепородной смесью являются источниками постоянного пыления. Шахтные терриконы систематически увеличиваются в размерах в плане за счет воздействия атмосферных осадков, что приводит к сокращению площади природных ландшафтов.

Детальный обзор на снимках из космоса техногенных ландшафтных объектов на территории РФ, представленных результатами деятельности горнодобывающей промышленности – внешними породными отвалами, шахтными терриконами и открытыми площадками с углепородной смесью, говорит о том, что в том виде, в котором они были созданы угледобывающими предприятиями, находиться не должны по ряду веских причин экологического характера. В любом случае на поверхности этих техногенных ландшафтных объектов должны быть выполнены горно-планировочные работы, нанесены потенциально плодородные породы и плодородный слой почвы суммарной мощностью не менее одного метра с последующим проведением работ биологического этапа рекультивации. Комплекс этих работ можно произвести по двум направлениям, в основе которых находятся разные подходы к комплектации горными и транспортными машинами, выполняющими основные технологические процессы. Как известно, исследованиями проблем и решением задач в области экологии в странах с горнодобывающей промышленностью масштабно и с большой эффективностью занимаются экологи. Результаты таких исследований представлены в кратком обзоре научных журналов [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. Вместе с тем, как показывает изучение специальной литературы, до настоящего времени в мире не существует технологий производства горно-планировочных работ поверхностей породных отвалов, шахтных терриконов

и работ по горнотехнической рекультивации, отвечающих требованиям мировых тенденций устойчивого развития общества, что говорит об актуальности разработки и обоснования создания новых инновационных технологий производства таких работ.

## СТРУКТУРА КОМПЛЕКСНОЙ МЕХАНИЗАЦИИ В ПРИМЕНЯЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ГОРНОТЕХНИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В существующем – классическом подходе к проектированию технологий горнотехнической рекультивации горизонтальных поверхностей внешних породных отвалов, шахтных терриконов и открытых площадок с углепородной смесью источником плодородного слоя почвы и источником потенциально плодородных пород являются небольшие по размерам карьеры на неудобных землях, разработка которых, как правило, производится на расстоянии до 5 км от рекультивируемого объекта. На выемке этих пород задействуют гидравлические экскаваторы типа «обратная лопата», а на транспортировке отгруженных пород – автосамосвалы общего назначения. Все эти механизмы оснащены дизельными двигателями внутреннего сгорания мощностью 250-400 л.с., что приводит в ходе их работы к эмиссии значительных по объему токсичных газов и веществ в атмосферу. В комплект горнотранспортного оборудования, задействованного на подобных работах, входит, как минимум, два бульдозера Б-10 (Т-170), один-два гидравлических экскаватора с вместимостью ковша 1,6-2,4 куб. м, и 3-4 автосамосвала общего назначения грузоподъемностью 20-40 т. Эта технология обладает тремя существенными недостатками: появление новых малогабаритных карьеров, большие затраты на производство работ и большие объемы эмиссии вредных веществ в атмосферу. Кроме того, для каждого вновь создаваемого карьера, независимо от его размеров, разрабатывают и согласовывают проект на его разработку и последующую рекультивацию. Другими словами, практическая реализация применяющейся технологии предполагает рекультивацию не одного техногенного ландшафтного объекта, а двух – рекультивируемого техногенного ландшафтного объекта и карьера по выемке потенциально плодородных пород для нанесения на поверхность первого.

## ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ГОРНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ РАБОТ И ГОРНОТЕХНИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НА ПОВЕРХНОСТИ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ КАРЬЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДРАГЛАЙНОВ

Наша основная концепция при разработке технологий горно-планировочных работ с совмещением с работами горнотехнического этапа рекультивации породных отвалов, шахтных терриконов или открытых площадок с углепородной смесью заключается в обосновании возможности и целесообразности выемки в контурах и ниже основания этих объектов потенциально плодородных пород для формирования рекультивационного слоя, наносимого на поверхность этих объектов.

В новом, инновационном авторском направлении, защищенном патентами на изобретения, зарегистрированными в «Государственном реестре изобретений РФ», детально изложены концепция, глобальные цели, выполнение производственных процессов с учетом множества экологических целей в разработанных технологиях производства горно-планировочных работ на техногенных ландшафтных объектах (внешние породные отвалы, шахтные терриконы, площадки с углепородной смесью), проводимых совместно с работами по горнотехнической рекультивации поверхностей этих объектов с последующей высадкой на отвалах деревьев [8, 9, 10, 11, 12, 13]. Наша научно-практическая школа, начиная с начала 2000-х годов рекомендует деление откосов техногенных ландшафтных объектов по вертикали на пятиметровые ярусы (в отдельных случаях на шести- семиметровые), между которыми оформляют межярусные площадки шириной 6-8 м с поперечным уклоном в диапазоне 5-7° в сторону отвала (террикона), что, как показала практика, обеспечивает задержку влаги в теле террикона при движении водных потоков с откосов вышерасположенных ярусов. Для ускорения восстановления экологического баланса на поверхности техногенных ландшафтных объектов рекомендуем нанесение горных пород четвертичного возраста – потенциально плодородных пород слоем мощностью не менее одного метра, а в случае, когда имеется возможность нанесения сверху плодородного слоя почвы мощностью не менее 0,5 м, этот показатель горных пород четвертичного возраста может быть уменьшен до 0,5 м.

В проектировании технологии горно-планировочных работ и работ по горнотехнической рекультивации техногенных ландшафтных объектов важными являются три аспекта: вертикальный профиль объекта до производства работ, и то же после выполнения работ наличие потенциально плодородных пород мощностью не менее 3-4 м в границах техногенных ландшафтных объектов. Сократить существенно затраты, отказаться от разработки малогабаритного карьера по выемке горных пород четвертичного возраста и снизить до нуля эмиссию вредных веществ в атмосферу – три глобальные цели в авторском направлении позволят использование драглайнов ЭДГ-8.55 в комплексе горно-планировочных работ, предусматривающих изменение архитектуры отвалов, терриконов и др., с проведением горнотехнического этапа рекультивации их поверхности, что корреспондируется с резолюциями ООН в области устойчивого развития мирового общества [14]. Предлагаемый комплекс работ выполняется в следующей логической последовательности в четыре этапа, при этом горно-планировочные работы максимально совмещены с работами горнотехнического этапа рекультивации при работе одним драглайном.

В качестве примера не случайно выбран внешний породный отвал, отсыпанный вблизи карьера по добыче минерального сырья с размерами в плане 100×1000 м одним ярусом высотой 8 м *(рис. 1)*. Вертикальный профиль отвала обведен линией черного цвета на отрезке *AB* протяженностью 100 м. После проведения комплекса горно-планировочных работ по изменению архитектуры отвала по авторской технологии, его высота увеличивается до 12 м,

и его конструкция оформляется в виде трех ярусов, два из которых высотой 5 и один – 2 м.

При этом вертикальный профиль трансформированного отвала на отрезке *EF* имеет протяженность 95 м. Геометрические параметры конструкции отвала имеют следующие уровни: угол откосов ярусов $\alpha = 22^o$, ширина межъярусных площадок *KL* равна 6 м, протяженность верхней горизонтальной части отвала *CD* с небольшим понижением от его периферии к центру под углом 2-3° составляет 10 м. Размеры вертикального сечения котлована в периферийной части отвала ниже его основания, из которого будет производиться выемка потенциально плодородных пород, приняты следующие: ширина полосы выемки по верху равна 28 м, ширина котлована по низу – 24 м при глубине 4 м. Графическая визуализация изменения конфигурации отвала необходима: для определения разницы между отрезками *AB* и *EF* и сокращения площади отвала; определения объема нанесения потенциально плодородных пород, что в свою очередь определяет размеры котлована. Предлагаемое изменение вертикального профиля отвала, соответствующее нашим рекомендациям, показано линией синего цвета на *рис. 1*, а на других рисунках – пунктирной линией.

Как было отмечено выше, сократить существенно затраты и снизить до нуля эмиссию вредных веществ в атмосферу позволит использование драглайнов ЭДГ-8.55 в комплексе работ, предусматривающих изменение архитектуры отвала и проведение горнотехнического этапа рекультивации его поверхности. Отметим, что конструктивные рабочие параметры драглайна ЭДГ-8.55 как выемочно-разгрузочной карьерной машины позволяют производить любые виды горно-планировочных работ: радиус черпания (радиус разгрузки) составляет 50 м; глубина черпания равна 27,5 м, а высота разгрузки ковша экскаватора равна 24,5 м. В паре с драглайном предусматривается работа бульдозера Б10 (Т-170). Предлагаемый комплекс горно-планировочных работ и работ по горнотехнической рекультивации выполняется в следующей логической последовательности.

На первом этапе драглайн перемещает вскрышные породы из отвала вправо от оси своего продольного хода *(рис. 2)*. После установки на поверхность отвала драглайн нижним черпанием производит экскавацию вскрышных пород на полную глубину их отсыпки до контакта с потенциально плодородными породами.

Направление перемещения вскрышных пород драглайном определяется стрелкой. В результате формируется второй ярус отвала высотой 7 м и шириной по низу 42 м. При этом большая часть вскрышных пород укладывается в конечный контур измененного отвала, а меньшая часть будет в дальнейшем перемещена драглайном в левую часть отвала. Реализация работ на этом этапе позволяет освободить полосу под отвалом для последующей выемки в ее границах потенциально плодородных пород.

На втором этапе драглайн устанавливают на уровне основания отвала и нижним черпанием производят выемку потенциально плодородных пород, находящихся ниже основания отвала. Эти породы драглайн укладывает в штабель слева от оси своего продольного перемещения вдоль длинной оси отвала *(рис. 3)*. Направление перемещения потенциально плодородных пород драглайном показано стрелкой. Объем выемки потенциально плодородных пород драглайном регламентируется необходимым объемом их нанесения на поверхность отвала с измененной архитектурой поверхности при условии нанесения пород слоем мощностью не менее одного метра.

На третьем этапе драглайн производит экскавацию нижним черпанием и перемещение вскрышных пород, которые находятся выше контура вертикального профиля вновь формируемого породного отвала путем изменения его архитектуры. Перемещение вскрышных пород драглайном в левую часть отвала и укладка в тело отвала с изменяемой конфигурацией, в котлован, из которого на предыдущем этапе произведена выемка потенциально плодородных пород, показаны стрелками на *рис. 4*.

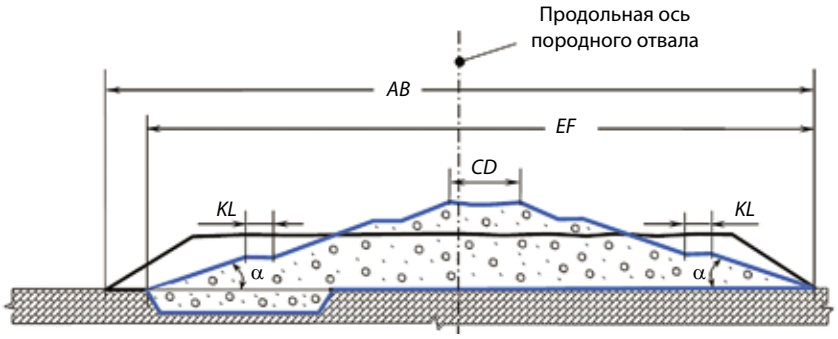
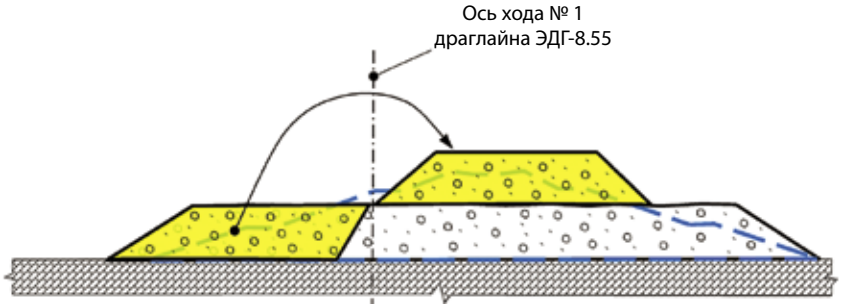



*Рис. 1. Вертикальный профиль породного отвала до производства горно-планировочных работ и после изменения архитектуры его поверхности*

*Fig. 1. A vertical profile of the rock dump before the mine planning works and after the change in its surface topography*




*– потенциально плодородные породы в основании породного отвала;*
*– вскрышные породы в теле породного отвала*

*Рис. 2. Схема перемещения вскрышных пород драглайном на первом этапе проведения горно-планировочных работ и работ по горнотехнической рекультивации породного отвала*

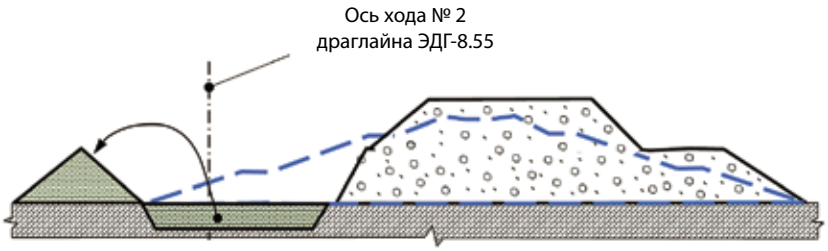
*Fig. 2. A schematic diagram of the overburden removal by a dragline stripper during the first stage of the mine planning and rock dump reclamation works*

Результатом работ на третьем этапе является вновь сформированный отвал с изменениями в его архитектуре, элементы которой значительно повышают устойчивость отвала во времени к воздействию атмосферных осадков.

Далее на четвертом этапе производства работ на поверхность породного отвала с измененной архитектурой драглайном ЭДГ-8.55 наносят потенциально плодородные породы, хранящиеся во временном штабеле, сформированном на втором этапе. Эти работы драглайн выполняет за два прохода вдоль длинной оси отвала. При движении драглайна по линии первого прохода по промежуточной площадке между первым и вторым ярусами драглайн нижним черпанием производит экскавацию потенциально плодородных пород из штабеля и дальнейшее их нанесение на поверхность отвала. Объем этих пород, которые по конструктивным параметрам драглайн не может нанести на дальнюю часть отвала, он отсыпает в промежуточную насыпь, из которой потенциально плодородные породы будут нанесены на поверхность отвала при проходе драглайна по лини второго прохода. По завершении перемещения потенциально плодородных пород из штабеля драглайн устанавливают на поверхности в центральной части отвала с небольшим смещением вправо от продольной оси отвала.

После завершения работ по нанесению потенциально плодородных пород на всю измененную поверхность отвала можно начинать работы, включенные в биологический этап рекультивации *(рис. 5)*. В комплекс этих работ входят внесение комплексных минеральных удобрений (*NPK*), посев многолетних трав, а также высадка кустарников и деревьев. Комплекс работ, входящих в биологический этап рекультивации, целесообразно выполнять в соответствии с нашими рекомендациями, изложенными в патентах на изобретения [12, 13].

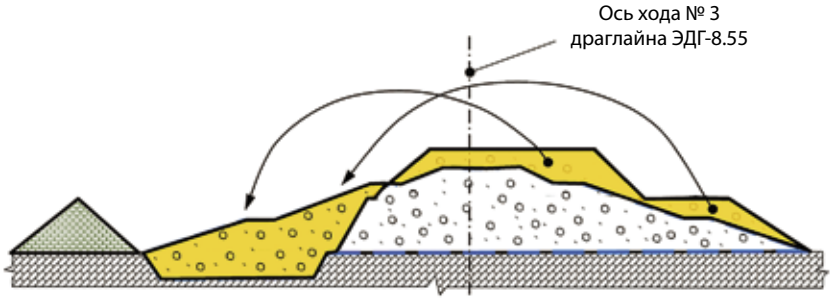
По нашей оценке, в рассмотренном примере при производстве горно-планировочных работ и работ по горнотехнической рекультивации при использовании применяемых технологий эмиссия токсичных веществ в атмосферу составит: оксид углерода – 158,34 т, диоксид углерода – 256,62 т, сероводород – 0,182 т, оксид серы – 0,855 т, оксид азота – 4,75 т, сажа – 4,37 т, углеводороды – 9,1 т, бензапирен – 0,1383 кг. Практическая реализация авторской технологии позволит уменьшить количество токсичных веществ в атмосферу в шесть раз в сравнении с применяемыми подходами к комплектации работ горными и транспортными машинами, оснащенными дизельными двигателями.




*– потенциально плодородные породы в основании породного отвала;*
*– вскрышные породы в теле породного отвала;*
*– потенциально плодородные породы для нанесения на поверхность породного отвала*

*Рис. 3. Схема перемещения потенциально плодородных пород драглайном на втором этапе проведения горно-планировочных работ и работ по горнотехнической рекультивации породного отвала*

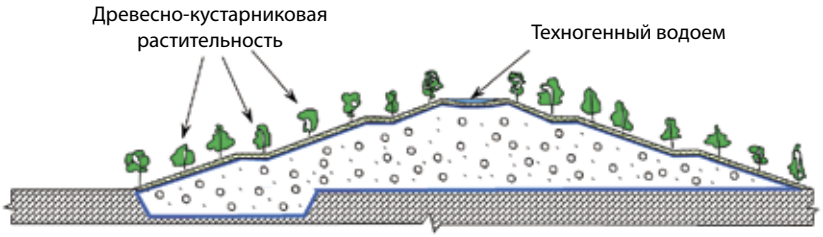
*Fig. 3. A schematic diagram of the potentially fertile soils removal by a dragline stripper during the second stage of the mine planning and rock dump reclamation works*




*– потенциально плодородные породы в основании породного отвала;*
*– вскрышные породы в теле породного отвала;*
*– потенциально плодородные породы для нанесения на поверхность породного отвала*

*Рис. 4. Схема перемещения вскрышных пород драглайном на третьем этапе проведения горно-планировочных работ и работ по горнотехнической рекультивации породного отвала*

*Fig. 4. A schematic diagram of the overburden removal by a dragline stripper during the third stage of the mine planning and rock dump reclamation works*




*– потенциально плодородные породы в основании породного отвала;*
*– вскрышные породы в теле породного отвала;*

*Рис. 5. Схема обустройства поверхности продного отвала по результатам производства горно-планировочных работ и комплекса работ по рекультивации*

*Fig. 5. A schematic diagram of the landscaping the surface of the rock dump following mine planning works and complex reclamation works*

Важным аспектом глобального проекта по ликвидации экологического ущерба с использованием применяемых подходов является ввод в эксплуатацию не менее 600 малых карьеров, при условии, что работой одного карьера будет обеспечен объем потенциально плодородных пород для нанесения на поверхность одного техногенного

ландшафтного объекта. После выполнения своей миссии потребуется финансирование на проекты по рекультивации отработанных карьеров и их рекультивацию. Отметим, что в авторской концепции обоснован отказ от строительства и работы новых карьеров, являющихся источником потенциально плодородных пород для рекультивации внешних породных отвалов, шахтных терриконов, площадок с отходами угледобычи.

## ВЫВОДЫ

В заключение отметим, что эколого-математическое моделирование комплекса горно-планировочных работ и работ по горнотехнической рекультивации на внешних породных отвалах, шахтных терриконах, площадках с отходами угледобычи, направленных на ускорение восстановления экологического баланса на их поверхности, позволило определить эмиссию токсичных веществ при работе горных и транспортных машин, оснащенных дизельными двигателями и обосновать отказ от использования таких механизмов в пользу использования гусеничных драглайнов с электрическим приводом рабочего оборудования. Практическая реализация авторской технологии в сравнении с применяемыми технологиями горно-планировочных работ и работ по горнотехнической рекультивации позволит в шесть раз сократить эмиссию токсичных веществ в атмосферу и одновременно сократить затраты на этот комплекс работ как минимум на 35-40%.

### *Список литературы • References*


1. Исследование горных работ и процессов восстановительной экологии на месторождениях угля во Вьетнаме по данным дистанционного зондирования / И.В. Зеньков, Чинь Ле Хунг, Ю.А. Анищенко и др. // Уголь. 2022. № 7. С. 21-24. DOI: 10.18796/0041-5790- 2022-7-21-24.
   Zenkov I.V., Trinh Le Hung, Anishchenko Yu.A., Loginova E.V., Maglinets Yu.A., Raevich K.V., Latyntsev A.A., Veretenova T.A., Kondrashov P.M., Pavlova P.L., Konov V.N. A study of mining operations and environmental rehabilitation processes in Vietnamese coal fields based on remote sensing data. *Ugol'.* 2022;(7):21-24. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-7-21-24.
2. Wang Y., Zhao S., Zuo H. et al. Tracking the Vegetation Change Trajectory over Large-Surface Coal Mines in the Jungar Coalfield Using Landsat Time-Series Data. *Remote Sens.* 2023;(15):5667. DOI: 10.3390/rs15245667.
3. Mitrakova N.V., Khayrulina E.A., Blinov S.M., Perevoshchikova A.A. Efficiency of acid sulphate soils reclamation in coal mining areas. *Journal of Mining Institute*. 2023;(260):266-278. DOI: 10.31897/PMI.2023.31.
4. Адаптивный аспект реализации технологии щелевания при рекультивации автомобильных отвалов в Республике Хакасия / Е.А. Моршнев, О.С. Сафронова, Н.А. Остапова и др. // Уголь. 2023/ № 4. С. 65-68. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-4-65-68.
   Morshnev E.A., Safronova O.S., Ostapova N.A., Evseeva I.N., Pilchuk E.V. Adaptive aspect of the implementation of the slotting technology in the reclamation of vehicle dumps in the Republic of Khakassia. *Ugol'.* 2023;(4):65-68. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-4-65-68.
5. Jingjing Yu, Xiaoyang Liu, Bin Yang et al. Major influencing factors identification and probabilistic health risk assessment of soil potentially toxic elements pollution in coal and metal mines across China: A systematic review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2024;(274):116231. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2024.116231.
6. Yi-wang Wang, Dong-sheng Bai, Xue-gang Luo et al. Effects of Setaria viridis on heavy metal enrichment tolerance and bacterial community establishment in high-sulfur coal gangue. *Chemosphere.* 2024;(351):141265. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2024.141265.
7. Maurílio A. Figueiredo, Maria C.T.B. Messias, Mariangela G.P. Leite et al. Topsoil volume optimization in the restoration of post-mined areas. *Restoration Ecology*. e14222. DOI: 10.1111/rec.14222.
8. Патент № 2803790 РФ. Способ рекультивации породного прямоугольного отвала / В.В. Галайко, И.В. Зеньков. Опубл. 19.09.2023. Бюл. № 26.
9. Патент № 2803791 РФ. Способ рекультивации породного эллипсовидного отвала / В.В. Галайко, И.В. Зеньков. Опубл. 19.09.2023. Бюл. № 26.
10. Патент № 2827588 РФ. Способ рекультивации породного отвала с экологической направленностью / В.В. Галайко, И.В. Зеньков. Опубл. 30.09.2024. Бюл. № 28.
11. Патент № 2830665 РФ. Способ рекультивации породного эллипсовидной формы отвала с экологичной направленностью / В.В. Галайко, И.В. Зеньков. Опубл. 25.11.2024. Бюл. № 33.
12. Патент № 2822880 РФ. Устройство высадки саженцев деревьев на откосе яруса и совмещенной нижней площадке породного отвала / В.В. Галайко, И.В. Зеньков. Опубл. 15.07.2024. Бюл. № 20.
13. Патент № 2822881 РФ. Способ высадки саженцев деревьев на откосе подъяруса и совмещенной нижней площадке породного отвала / В.В. Галайко, И.В. Зеньков. Опубл. 15.07.2024. Бюл. № 20.
14. https://www.un.org/ru/climatechange/climate-ambition-summit.



**Authors Information**

**Zenkov I.V.** – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Deputy Director for Scientific Work, Siberian Research Institute of Mining and Surveying, Krasnoyarsk, 660025, Russian Federation, e-mail: zenkoviv@mail.ru

**Conde A.S.** – Mining engineer, RUSSKY ALUMINY LIMITED, Representative Office in the Republic of Guinea, Conakry, BP 6506, Republic of Guinea

**Yuronen Yu.P.** – PhD (Engineering), Associate Professor, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

**Cherepanov E.V.** – PhD (Engineering), Associate Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

**Sizova T.N.** – Senior lecturer, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

**Afanasov V.I.** – Senior lecturer, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

**Mironova Zh.V.** – PhD (Engineering), Associate Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

**Kuzina L.N.** – PhD (Economics), Associate Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation



**Информация о статье**

*Поступила в редакцию: 15.08.2025*
*Поступила после рецензирования: 18.09.2025*
*Принята к публикации: 29.09.2025*

**Paper info**

*Received August 15, 2025*
*Reviewed September 18, 2025*
*Accepted September 29, 2025*