



Краткое сообщение

Отрицательный углеродный след при добыче алмазов из кимберлитов: опыт компании «АЛРОСА»

**Алексей Юрьевич Масанов^{✉,1}, Евгения Владимировна Кузьминых²,
Николай Андреевич Трофимов², Галина Петровна Двойченкова^{3,4},
Анастасия Владимировна Габрашитова⁵**

¹АК «АЛРОСА» (ПАО), Озерковская наб., 24, г. Москва, 115184, Российская Федерация

²ООО «Кэпт Налоги и Консультирование», Ленинградский проспект,
34А, г. Москва, 125040, Российская Федерация

³Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН,
Крюковский тупик, д.4, г. Москва, 111020, Российская Федерация

⁴Политехнический институт (филиал) Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова,
г. Мирный, ул. Тихонова, д.5, корп. 1, г. Мирный, 678174, Российская Федерация

⁵АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный, 678175, ул. Ленина, 6, Российская Федерация

[✉]MasanovAYu@alrosa.ru

Аннотация

В статье анализируются результаты деятельности группы компаний «АЛРОСА» по достижению углеродной нейтральности. Применение уникальных технологий усиленного минерального выветривания позволило компенсировать эмиссию парниковых газов за счет самопроизвольного поглощения из хвостохранилищ. Реализован первый в России климатический проект по абсорбции углерода из воздуха за счет применения усиленного выветривания и поглощения углекислого газа при обогащении и пребывании отходов переработки руды в хвостохранилищах. Результаты применения разработанной технологии на Айхальском, Удачинском ГОКах в Якутии и Ломоносовском ГОКе в Архангельской области позволяют констатировать достижение отрицательного углеродного следа конечной продукции. Впервые в мировой практике промышленная компания обеспечила углеродную нейтральность за счет собственной деятельности, без применения внешних компенсационных механизмов. По итогам 2025 года зафиксирован отрицательный углеродный след продукции на уровне –1,18 экв. CO₂/карат.

Ключевые слова: углеродная нейтральность, кимберлит, ускоренное выветривание горных пород, климатический проект, углеродный след

Финансирование. Исследование выполнено без финансирования.

Для цитирования: Масанов А.Ю., Кузьминых Е.В., Трофимов Н.А., Двойченкова Г.П., Габрашитова А.В. Отрицательный углеродный след при добыче алмазов из кимберлитов: опыт компании «АЛРОСА». *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2026;31(3):1–8. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2026-31-3-1-8> EDN: XXXXXX

Negative carbon footprint in kimberlite diamond mining: ALROSA's case

Alexey Yu. Masanov^{✉,1}, Evgeniya V. Kuzminykh², Nikolay A. Trofimov²,
Galina P. Dvoichenkova^{3,4}, Anastasia V. Gabrashitova⁵

¹ALROSA PJSC, 24, Ozerkovskaya nab., Moscow, Russian Federation, 115184

²Kept Tax and Advisory LLC, 34A, Leningradsky av., Moscow, Russian Federation, 125040

³Academician N.V. Melnikov Institute of Problems of Integrated Development of Mineral Resources, Russian Academy of Sciences, 4, Kryukovsky Tupik St., Moscow, Russian Federation, 111020

⁴Polytechnic Institute (branch) of North-Eastern Federal University,
5/1, Tikhonov St., Mirny, Russian Federation, 678174

⁵ALROSA PJSC, 6, Lenina St., Mirny, Russian Federation, 678175

✉MasanovAYu@alrosa.ru

Abstract

This article examines the results of the ALROSA Group's efforts to achieve carbon neutrality. The application of novel enhanced mineral weathering technologies has enabled greenhouse gas emissions to be offset through spontaneous CO₂ uptake from tailings storage facilities. Russia's first climate project of this kind has been implemented, focusing on atmospheric carbon dioxide removal via enhanced weathering and CO₂ capture during ore beneficiation and subsequent storage of processing waste in tailings ponds. The results obtained from applying the developed technology at the Aikhal and Udachny Mining and Processing Plants in Yakutia and the Lomonosov Mining and Processing Plant in the Arkhangelsk Region confirm that a negative carbon footprint of the final product has been achieved. For the first time in international practice, an industrial enterprise has attained carbon neutrality exclusively through its own operations, without relying on external offset mechanisms. Based on 2025 performance data, the final product's carbon footprint was recorded at –1.18 t CO₂eq per carat.

Keywords: Carbon neutrality, kimberlite, enhanced weathering of rocks, climate project, carbon footprint

Funding. This research received no external funding.

For citation: Masanov A.Yu., Kuzminykh E.V., Trofimov N.A., Dvoichenkova G.P., Gabrashitova A.V. Negative carbon footprint in kimberlite diamond mining: ALROSA's case. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2026;31(3):1–8. (In Russ.); <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2026-31-3-1-8> EDN: XXXXXX

Введение

Реакционная способность ультраосновных пород претерпевать преобразования в коре выветривания под действием атмосферного воздуха широко известна. Однако изучение этого явления не имело практического значения до того момента, пока не появилась необходимость в поиске дополнительных возможностей по увеличению поглощения углекислого газа (CO₂) из атмосферы. Многочисленные исследования на Западе [1–8] и отдельные – в России [9–15], посвященные способности ультраосновных пород поглощать углекислый газ из воздуха, сформировали устойчивые понятия *CCS* (*Carbon capture and storage*) – технологии захвата и удержания углерода в неорганическом виде и *CDR* (*Carbon dioxide removal*).

Одним из направлений проектов CCS-CDR стало усиленное выветривание минералов (En-

hanced weathering of minerals) [6]. Такие процессы весьма органичны для естественных циклов углерода, имеющих место в природе без участия человека. В результате эрозии и выветривания горных пород происходит видоизменение и преобразование одних минералов в другие, достаточно полно описанные в отечественной литературе [9–12]. Содержащийся в большом количестве в недрах горных пород оливин под воздействием воды, углекислого газа и окислителей преобразуется в магнетит, лизардит, серпентин и далее в глины – вермикулит, смектит, сапонит [11]. Углерод в таких процессах берется из воздуха в виде CO₂ и в конце своего пути навечно запечатывается в виде нерастворимых минералов – карбонатов кальция и магния – кальцита и доломита [10, 11].

В природе карбонаты накапливаются в виде осадочных пород – известняка, который можно

назвать конечным видом существования углерода. Если бы не процесс связывания CO_2 в карбонаты, по оценке [14], содержание CO_2 в атмосфере превосходило бы сегодняшнее значение на несколько порядков (около 400 ppm), а его парциальное давление достигало бы 90–100 бар, как на Венере. В свою очередь, это привело бы к необратимому парниковому эффекту с температурами, стабильно превышающими 550 °С. Причем, подобные процессы протекают крайне медленно. Накопленный углерод в форме осадочных известняковых пород представляет собой склад углерода, который когда-то в предыдущие геологические эпохи содержался в атмосфере планеты.

Современные темпы накопления углерода в результате деятельности человека, начавшиеся с промышленной революции 1800-х годов, сильно опережают темпы естественного захоронения углерода, что приводит к накоплению углекислого газа в атмосфере Земли. Превышение уровня 400 ppm CO_2 в воздухе Земли сделало очевидной связь роста глобальной температуры с деятельностью человека [15]. А также дало импульс для сокращения выбросов парниковых газов, с одной стороны, и для поиска технологических решений по захвату и необратимому удержанию углерода – с другой. Оба направления составляют основу для климатических проектов, т. е. проектов, направленных как на сокращение выбросов парниковых газов (далее – ПГ), так и на увеличение их поглощения.

Исследование минеральной карбонизации хвостов переработки кимберлитовой руды

В 2021 г. Центр инноваций и технологий совместно с Экологическим центром и геологической службой АК «АЛРОСА» (ПАО) провели исследования [16, 17], направленные на изучение образцов хвостов переработки кимберлитовой руды различных периодов отработки (1, 2, 3, 5 и 10 лет). Результаты показали следы накопления углерода из воздуха в виде прироста карбонатов. Последние, в свою очередь, свидетельствовали о самопроизвольном поглощении CO_2 из воздуха, к которому приводила производственная деятельность компании. При этом потенциал компенсации эмиссии ПГ в результате такого поглощения оказался более чем сопоставим с эмиссией всего производственного комплекса Группы «АЛРОСА».

Дальнейшие полноценные исследования, по заказу Центра инноваций и технологий, проводила научная группа геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова под руководством профессора А.Ю. Бычкова. Исследования [18] включали термодинамические моделирования реакций с теоретическим обоснованием условий для прохождения реакций, посредством которых происходит поглощение CO_2 из атмосферы, стендовое и полевое изучение карбонизации хвостов при пребывании измельченной и переработанной руды на воздухе в климатических условиях местности и количественные замеры накопления карбонатов в хвостах возраста до 20 лет и более.

По результатам работ была разработана Методика количественного определения поглощения углекислого газа (СТО АЛРОСА 1-2.007.2024), в которой была предложена формула для расчета величины поглощения CO_2 производственными площадками (ГОКами), а также формула для расчета их суммарного поглощения на основе исходных данных о количестве переработанной руды коренных месторождений, разрабатываемых АК «АЛРОСА» (ПАО) и АО «Севералмаз».

Полученная методика количественно описывает поглощение CO_2 и накопление карбонатов для руды якутских месторождений – кимберлитовых трубок: Удачная, Зарница, Юбилейная, Айхал, Заполярная, Магнитная, Новинка, Комсомольская и др., а также архангельских месторождений – кимберлитовых трубок: Архангельская, им. Карпинского-1, 2. Методика в дальнейшем может быть расширена по мере принятия на баланс и промышленного освоения новых кимберлитовых тел [19].

Особая ситуация наблюдалась в хвостохранилище Мирнинско-Нюрбинского ГОКа (далее МНГОК). С одной стороны, кимберлиты трубок Мир, Интернациональная, Бутобинская, Нюрбинская показывали хорошую способность поглощать CO_2 в экспериментальном изучении в лаборатории, но, с другой стороны, полевые исследования не подтвердили следов накопления карбонатов, что косвенно свидетельствовало об отсутствии поглощения CO_2 в этих условиях. Материал этих трубок не был включен в Методику.

Компенсация эмиссии парниковых газов. Достижение углеродной нейтральности

Превышение уровня поглощения CO_2 над эмиссией позволило Компании «АЛРОСА» зая-

Таблица 1

Сводные данные о поглощении АБК Группы «АЛРОСА», т CO₂-экв.

Table 1

Summary data on emission of the Diamond Division, ALROSA Group

Виды выбросов и поглощений ПГ	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г.
Прямые выбросы (Scope 1)	724 375	825 768	832 093	862 573	757 339
Косвенные выбросы (Scope 2)	169 754	146 393	139 008	149 552	152 693
Суммарные выбросы	894 130	972 161	971 101	1 012 126	910 032
Прямые поглощения	905 843	944 367	1 024 402	1 048 845	1 035 976

вить о достигнутой углеродной нейтральности алмазно-бриллиантового комплекса за 2024 г.¹

Самопроизвольное поглощение CO₂ при осуществлении производственной деятельности на Удачинском, Айхальском и Ломоносовском ГОКах (УГОК, АГОК и ЛГОК соответственно) стало основой для последующего климатического проекта по интенсификации поглощения ПГ, с одной стороны и определило уровни компенсации выбросов ПГ (Scope 1, 2, 3), с другой.

На основе проведенной работы при поддержке консультантов из «Кэпт Налоги и Консультирование» были подготовлены Отчеты по выбросам и поглощениям парниковых газов алмазно-бриллиантового комплекса Группы «АЛРОСА» за 2021–2023 гг.², 2024 г.³, которые были верифицированы TÜV Austria Standards & Compliance.

Из полученных результатов (табл. 1) видно, что в 2021, 2023 и 2024 гг. прямые поглощения ПГ превысили суммарные выбросы на 1, 5 и 3 % соответственно. В 2022 г. поглощение покрыло только 98 % ПГ.

Итоговые данные за 2025 г. показывают существенное превышение поглощения над суммарными выбросами ПГ. Поглощение составило⁴ 1 035 тыс. т. CO₂ при совокупной эмиссии 910 тыс. т CO₂ экв. (превышение на 14 %). Такое значительное превышение может быть связано

с сокращением добычи на россыпных месторождениях (м. Верхняя Муна), где эмиссия имеет место, а поглощение – нет, и другими факторами.

Углеродный след алмазов Алроса.
Бенчмаркинг

Углеродный след продукции применительно к лабораторным (синтетическим) алмазам и бриллиантам основных мировых производителей по данным из публичных отчетов компаний показан в табл. 2. Данные сопоставлены методом бенчмаркинга (*от англ. benchmark – эталон, проверочная точка*) – анализ помогает найти лучшие практики в отрасли, сравнить и затем применить их, а также проанализировать прямых конкурентов и компании из других сфер бизнеса (всех у кого есть подобные решения).

Из приведенных данных видно, что уровень углеродного следа естественных алмазов для различных мировых производителей находится в пределах от 56 до 230 кг CO₂/карат для европейских и американских компаний и до 595 кг CO₂/карат для индийских производителей. Для бриллиантов на основе естественных алмазов эти значения достигают 260 кг CO₂/карат. По исходным данным, с учетом структуры и специфики мирового органичного комплекса, не представляется возможным разделить эти данные по регионам.

Указанные данные по углеродному следу естественных алмазов в большей степени формируются из прямых выбросов (*Scope 1*) при добыче алмазов открытым способом в карьерах или подземным образом в шахтах и косвенных энергетических выбросов (*Scope 2*), главным образом за счет электроэнергии, необходимой для добычи, подготовки и обогащения.

Для бриллиантов – изделий из алмазов – в основном имеют место косвенные выбросы парниковых газов, которые возникают в цепочке создания и транспортировки продукции (*Scope 3*).

¹ <https://www.kommersant.ru/doc/7833771?ysclid=mnn5bflkj4a757132175>
² <https://tass.ru/ekonomika/24280827?ysclid=mnn5cyc47o759403178>
³ <https://ria.ru/20250621/alrosa-2024510092.html?ysclid=mnn5de8ruh680569608>
⁴ <https://rg.ru/2025/06/23/shanhajaskaia-almaznaia-birzha-priznala-produkciiu-alrosa-uglerodno-nejtralnoj.html?ysclid=mnn5ea6kdl690512355>

² <https://tuv-verified.com/certificates/tasc-v-20241226001/>

³ <https://tuv-verified.com/certificates/tasc-v-20250609004/>

⁴ <https://tuv-certified.com/certificates/tasc-v-20260522001/>

Таблица 2

Бенчмаркинг углеродного следа алмазов и бриллиантов

Table 2

Benchmarking the carbon footprint of diamonds

№	Тип	УСП, кг CO ₂ / карат	Источник	Естественные / Лабораторные	Комментарий
1	Алмаз	56,00	S&P Global	естественные	Среднее значение по данным Diamond Producers Association
2	Бриллиант	160,00	S&P Global	естественные	Среднее значение по данным Diamond Producers Association
3	Алмаз	57,00	Final-report-Environmental-Impacts-of-Mined-Diamonds.pdf	естественные	
4	Бриллиант	70,49	Shree Ramkrishna Exports Pvt Ltd	естественные	Индия
5	Алмаз	69,74	Shree Ramkrishna Exports Pvt Ltd	естественные	Индия; расчет исходя из данных, представленных на стр. 5 источника
6	Бриллиант	9,17	Pandora	лабораторные	Использование 100% возобновляемой электроэнергии; Алмазы синтезируются в США и перевозятся в Индию для огранки
7	Бриллиант	17,00–36,00	Sphera statement	лабораторные	ЕС; использование 100% возобновляемой электроэнергии
8	Алмаз	15,00–16,00	Sphera statement	лабораторные	ЕС; использование 100% возобновляемой электроэнергии
9	Бриллиант	260,00	Sphera statement	лабораторные	ЕС
10	Алмаз	230,00	Sphera statement	лабораторные	ЕС (приблизительное значение по графику; raw materials acquisition + diamond synthesis)
11	Бриллиант	523,00	Sphera statement	лабораторные	КНР
12	Алмаз	505,00	Sphera statement	лабораторные	КНР (приблизительное значение по графику; raw materials acquisition + diamond synthesis)
13	Бриллиант	612,00	Sphera statement	лабораторные	Индия
14	Алмаз	595,00	Sphera statement	лабораторные	Индия (приблизительное значение по графику; raw materials acquisition + diamond synthesis)
15	Алмаз	–1,18	УСП Группы «АЛРОСА»	естественные	Данные за 2025 г.
16	Бриллиант	9,13	УСП Группы «АЛРОСА»	естественные	Данные за 2025 г.

Алмазы производства Группы «АЛРОСА» до реализации климатических инициатив по компенсации эмиссии ПГ за счет естественного поглощения характеризовались углеродным следом ниже средних значений для отрасли. Годовые отчеты (данные инвентаризации, собранные в [17]) компании фиксировали удельные показатели выбросов продукции на уровне 15–29 кг CO₂ на карат продукции в период 2016–2020 гг. С учетом выбросов и поглощений ПГ, за счет открытого и описанного явления на основе верифицированных данных TUV углеродный след алмазов

производства Группы «АЛРОСА» за 2024 г. составил –0,71 кг CO₂-экв./карат (отрицательное значение). То есть впервые в мире зафиксирован отрицательный углеродный след продукции¹. По результатам за полный 2025 г., углеродный след продукции составил уже –1,18 кг CO₂-экв./карат² (отрицательное значение).

Примечательным наблюдением является высокий след лабораторно выращенных алмазов

¹ <https://tuv-verified.com/certificates/tasc-v-20250609002/>

² <https://tuv-certified.com/certificates/tasc-v-20260522002/>

и произведенных из них бриллиантов. По данным Sphera statement¹, углеродный след синтетических (лабораторных) алмазов начинается от 230 кг CO₂-экв./карат для европейских и американских производителей и достигает 595 кг CO₂-экв./карат для индийских. Столь высокие значения обусловлены высокими затратами на электроэнергию, необходимую для производства синтетических алмазов методами HPHT или CVD.

С учетом этих данных, заявления о экологической чистоте синтетических или лабораторно выращенных алмазов и бриллиантов являются весьма спорными и не соответствующими действительности.

Углеродный след на уровне 15–16 кг CO₂/карат для лабораторно выращенных алмазов и 17–36 кг CO₂/карат для бриллиантов, изготовленных из них, достигается только в случае использования для их производства 100 % возобновляемой энергии. Однако при этом себестоимость такой продукции может быть несопоставима с естественными аналогами.

Углеродный след бриллиантов, произведенных АО «ПО «Кристалл» – собственного завода в рамках Группы «АЛРОСА» из алмазов, произведенных на собственных производственных площадках в Якутии и Архангельской области, составил 8,37² кг CO₂-экв./карат в 2024 г. и 9,13³ кг CO₂-экв./карат по результатам за 2025 год.

Заключение

Таким образом, способность кимберлитовой руды самопроизвольно поглощать CO₂ из воздуха является естественным надежным природным способом захватывать CO₂ и захоранивать его в виде конечных продуктов – карбонатов кальция и магния как основы осадочных пород на Земле. Изучение этого явления путем инновационной деятельности компании, организации НИОКР с привлечением научных центров и выполнения исследований на высоком уровне сделало возможным наглядное обоснование компенсации эмиссии ПГ в результате деятельности группы «АЛРОСА». Количественные результаты данного явления были верифицированы независимой аккредитованной международной компа-

нией. При этом «АЛРОСА» стала первой промышленной компанией, достигшей углеродной нейтральности за счет собственной деятельности (без использования компенсационных механизмов), а углеродный след продукции впервые составил отрицательное значение. Дальнейшие исследования [20] подтвердили возможность интенсификации поглощения, что заложило фундамент для реализации первого в России климатического проекта⁴ CDR-типа на основе усиленного выветривания горных пород.

Список литературы / References

1. Power I.M., McCutcheon J., Harrison A.L., et al. Strategizing carbon-neutral mines: A case for pilot plants. *Minerals*. 2014;4(2):399–436. <https://doi.org/10.3390/min4020399>. – EDN: UOFFOL
2. Stubbs A.R., Paulo C., Power I.M., et al. Direct measurement of CO₂ drawdown in mine wastes and rock powders: Implications for enhanced rock weathering. *International Journal of Greenhouse Gas Control*. 2022;113:103554. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2021.103554>. – EDN: IHFZXC
3. Wilson S.A., Barker S.L.L., Dipple G.M., Atudorei V. Isotopic disequilibrium during uptake of atmospheric CO₂ into mine process waters: implications for CO₂ sequestration. *Environmental Science and Technology*. 2010;44:9522–9529. <https://doi.org/10.1021/es1021125>. – EDN: OBUFNL
4. Paulo C., Power I.M., Stubbs A.R., et al. Evaluating feedstocks for carbon dioxide removal by enhanced rock weathering and CO₂ mineralization. *Applied Geochemistry*. 2021;129:104955. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2021.104955>. – EDN: MPEUIE
5. Mervine E.M., Wilson S.A., Power I.M., et al. Potential for offsetting diamond mine carbon emissions through mineral carbonation of processed kimberlite: an assessment of De Beers mine sites in South Africa and Canada. *Mineralogy and Petrology*. 2018;112(2):755–S765. <https://doi.org/10.1007/s00710-018-0589-4>. – EDN: VQYIED
6. Paulo C., Power I.M., Stubbs A.R., et al. Evaluating feedstocks for carbon dioxide removal by enhanced rock weathering and CO₂ mineralization. *Applied Geochemistry*. 2021;129:104955. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2021.104955>. – EDN: MPEUIE
7. Conti S. De Beers Explores the Carbon-zapping Powers of Kimberlite. Available at: <https://www.debeersgroup.com/~media/Files/D/De-Beers-Group/documents/building-forever/carbonvault-in-the-press.pdf> (accessed: 18.03.2026)
8. Mervine E.M., Wilson S.A., Power I.M., et al. Potential for offsetting diamond mine carbon emissions through mineral carbonation of processed kimberlite: an assessment of De Beers mine sites in South Africa and Canada. *Mineralogy and Petrology*. 2018;112(2):755–765. <https://doi.org/10.1007/s00710-018-0589-4>. – EDN: VQYIED
9. Зинчук Н.Н. Сравнительная характеристика вещественного состава коры выветривания кимберлитовых пород Сибирской и Восточно-Европейской платформ. *Геология и геофизика*. 1992;33(7):99–109. – EDN: CUVYRQ
10. Zinchuk N.N. Comparative characteristics of weathering crust composition of kimberlite rocks in the Siberian and East-

¹ <https://pandoragroup.com/~media/Files/Sustainability/Brilliance/Sphera-statement.pdf>

² <https://tuv-verified.com/certificates/tasc-v-20250609003/>

³ <https://tuv-certified.com/certificates/tasc-v-20260522003/>

⁴ <https://carbonreg.ru/ru/projects/121/>

- European Platforms. *Russian Geology and Geophysics*. 1992; 33(7):99–109. (In Russ.). – EDN: CUVYRQ
10. Зинчук Н.Н. Коры выветривания и вторичные изменения кимберлитов Сибирской платформы. Новосибирск: Изд-во НГУ; 1994. 240 с. – EDN: NDAVLE
- Zinchuk N.N. Weathering crusts and secondary alterations of kimberlites of the Siberian Platform. Novosibirsk: Novosibirsk State University Press; 1994. 240 p. (In Russ.)
11. Зинчук Н.Н. Особенности состава основной массы кимберлитов. *Отечественная геология*. 2025;(1):79–103. <https://doi.org/10.47765/0869-7175-2025-10005>. – EDN: HEDEIE
- Zinchuk N.N. Specific features of basic kimberlite mass composition. *Otechestvennaya Geologiya [Domestic Geology]*. 2025;(1):79–103. (In Russ.). <https://doi.org/10.47765/0869-7175-2025-10005>. – EDN: HEDEIE
12. Лапин А.В., Толстов А.В., Лисицин Д.В. Кимберлиты и конвергентные породы. Формационные петрогеохимические критерии. М.: ИМГРЭ; 2004. 226 с. – EDN: QKEDGP
- Lapin A.V., Tolstov A.V., Lisitsin D.V. *Kimberlites and convergent rocks. Formational petrogeochemical criteria*. Moscow: IMGRE (Institute of Mineralogy, Geochemistry, and Crystal Chemistry of Rare Elements); 2004. 226 p. (In Russ.). – EDN: QKEDGP
13. Соболев Н.В., Соболев А.В., Томиленко А.А. и др. Уникальные особенности состава вкрапленников оливина посттрапповой алмазоносной трубки Малокуонапская, Якутия. *Доклады Академии наук*. 2015;463(5):587–591. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2008.09.001>. – EDN: UDFCUJ
- Sobolev N.V., Sobolev A.V., Tomilenko A.A., et al. Unique compositional peculiarities of olivine phenocrysts from the post flood basalt diamondiferous Malokuonapskaya kimberlite pipe, Yakutia. *Doklady Earth Sciences*. 2015;463(2):828–832. <https://doi.org/10.1134/S1028334X15080164>. – EDN: UZXILR
14. Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. *Развитие Земли*. М.: Изд-во МГУ; 2002. 506 с.
- Sorokhtin O.G., Ushakov S.A. *Evolution of the Earth*. Moscow: Moscow State University Press; 2002. 506 p. (In Russ.)
15. Collaborating for a net-zero future. Global Status of CCS Report 2024 by Global CCS Institute. Available at: <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2024/11/Global-Status-Report-6-November.pdf> (accessed: 25.03.2026)
16. Масанов А.Ю., Дубовичев М.А., Толстов А.В. и др. Потенциал компенсации выбросов парниковых газов предприятий группы «АЛРОСА» за счет карбонизации отработанного кимберлита. *Рациональное освоение недр*. 2021;(4): 64–73. <https://doi.org/10.26121/RON.2021.87.40.008>. – EDN: VDQUGX
- Masanov A.Yu., Dubovichev M.A., Tolstov A.V., et al. Offsetting potential of GHG emissions of Alrosa Group enterprises due to carbonation of waste kimberlite. *Ratsionalnoe Osvoeni Nedr=Mineral Mining & Conservation*. 2021;(4):64–73. (In Russ.). <https://doi.org/10.26121/RON.2021.87.40.008>. – EDN: VDQUGX
17. Масанов А.Ю., Анисимова П.С., Толстов А.В. и др. Реализация экологических инициатив АК «АЛРОСА» (ПАО) по достижению углеродной нейтральности. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2021;26(4):54–66. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-4-54-66>. – EDN: YIZCBD
- Masanov A.Yu., Anisimova P.S., Tolstov A.V., et al. Implementation of environmental initiatives of JSC «ALROSA» (PJSC) to achieve carbon neutrality. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2021;26(4):54–66. (In Russ.). <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-4-54-66>. – EDN: YIZCBD
18. Масанов А.Ю., Бычков А.Ю., Горячкина Д.Ю. Прямое поглощение углекислого газа из атмосферы кимберлитовыми породами при разработке коренных алмазных месторождений Якутии и Архангельской области и его вклад в достижение углеродной нейтральности алмазно-бриллиантового комплекса Группы АЛРОСА. *Рациональное освоение недр*. 2025;81(1):56–73. <https://doi.org/10.26121/2219-5963-81-1-56-73>. – EDN: LKWXSJ
- Masanov A.Yu., Bychkov A.Yu., Goryachkina D.Yu. Carbon dioxide direct absorption from the atmosphere by kimberlite rocks during the development of primary diamond deposits in Yakutia and the Arkhangelsk Region and its contribution to the carbon-neutral transition of the Alrosa Group Diamonds Factory. *Ratsionalnoe Osvoeni Nedr=Mineral Mining & Conservation*. 2025;81(1):56–73. (In Russ.). <https://doi.org/10.26121/2219-5963-81-1-56-73>. – EDN: LKWXSJ
19. Мальцев М.В., Толстов А.В., Фомин В.М., Старкова Т.С. Новое кимберлитовое поле в Якутии и типоморфные особенности его минералов-индикаторов. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2016;(3):86–94. – EDN: WMUGQX
- Maltsev M.V., Tolstov A.V., Fomin V.M. New kimberlite field in Yakutia and typomorphic especially its indicators minerals. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geocology*. 2016;(3):86–94. (In Russ.). – EDN: WMUGQX
20. Масанов А.Ю., Бычков А.Ю., Двойченкова Г.П. и др. Ускоренное выветривание хвостов переработки руды трубки «Интернациональная» как основа для реализации климатического проекта CDR-типа на Мирнинско-Нюрбинском ГОКе. *Экология и промышленность России*. 2026;30(8): 11–17. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2026-8-11-17>
- Masanov A.Yu., Bychkov A.Yu., Dvoichenkova G.P., et al. Enhanced weathering of processing tailings from the “Internationalnaya” Kimberlite Pipe as a basis for CDR project at the Mirny-Nyurba Mining and Processing Division. *Ecology and Industry of Russia*. 2026;30(8):11–17. (In Russ.). <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2026-8-11-17>

Об авторах

МАСАНОВ Алексей Юрьевич, руководитель направления Центра инноваций и технологий, АК «АЛРОСА» (ПАО), <https://orcid.org/0009-0000-4403-5975>, e-mail: MasanovAYu@alrosa.ru

КУЗЬМИНЫХ Евгения Владимировна, менеджер Отдела операционных рисков и устойчивого развития, ООО «Кэпт Налоги и Консультирование», e-mail: ekuzminykh@kept.ru

ТРОФИМОВ Николай Андреевич, ведущий инженер Отдела операционных рисков и устойчивого развития, ООО «Кэпт Налоги и Консультирование», e-mail: ntrofimov@kept.ru

ДВОЙЧЕНКОВА Галина Петровна, д.т.н., главный научный сотрудник, лаборатории теории разделения минеральных компонентов, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН; профессор, Политех-

Масанов А.Ю. и др. ♦ Отрицательный углеродный след при добыче алмазов из кимберлитов...

нический институт (филиал) Северо-Восточного Федерального университета им. М.К. Аммосова, <https://orcid.org/0000-0002-0940-3880>, e-mail: dvoigp@mail.ru

ГАБРАШИТОВА Анастасия Владимировна, директор Экологического центра АК «АЛРОСА» (ПАО), e-mail: GabrashitovaAV@alrosa.ru

Вклад авторов

Масанов А.Ю. – разработка концепции, методология, создание черновика рукописи; **Кузьминых Е.А.** – верификация данных, редактирование рукописи; **Трофимов Н.А.** – проведение исследования, администрирование данных; **Двойченкова Г.П.** – руководство исследованием, администрирование проекта; **Габрашитова А.В.** – ресурсное обеспечение исследования

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

About the authors

MASANOV, Alexey Yurievich, Head, Innovation Implementation, Center for Innovations and Technologies, ALROSA PJSC, <https://orcid.org/0009-0000-4403-5975>, e-mail: MasanovAYu@alrosa.ru

KUZMINYKH, Evgenia Vladimirovna, Manager, Operational Risks and Sustainable Development, Kept Tax and Advisory LLC, e-mail: ekuzminykh@kept.ru

TROFIMOV, Nikolai Andreevich, Leading Engineer, Operational Risks and Sustainable Development, Kept Tax and Advisory LLC, e-mail: ntrofimov@kept.ru

DVOICHENKOVA, Galina Petrovich, Dr. Sci. (Eng.), Chief Researcher, Laboratory of the Theory of Separation of Mineral Components, Academician N.V. Melnikov Institute of Problems of Integrated Development of Mineral Resources, Russian Academy of Sciences; Professor, Polytechnic Institute (Branch), Ammosov North-Eastern Federal University, <https://orcid.org/0000-0002-0940-3880>, e-mail: dvoigp@mail.ru

GABRASHITOVA, Anastasya Vladimirovna, Director, Environmental Center, ALROSA PJSC, e-mail: GabrashitovaAV@alrosa.ru

Authors' contribution

Masanov A.Yu. – conceptualization, methodology, writing – original draft; **Kuzminykh E.V.** – validation, writing – review & editing; **Trofimov N.A.** – investigation, data curation; **Dvoichenkova G.P.** – supervision, project administration; **Gabrashitova A.V.** – resources

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию / Submitted 07.04.2026

Поступила после рецензирования / Revised 12.08.2026

Принята к публикации / Accepted 18.08.2026