

Научная статья

УДК 549.211.02:553.81.068.5(68)

doi:10.52349/0869-7892_2025_102_139-147

Ключевые слова: алмазы, россыпи, кимберлитовые трубки, Южная Африка, азот, углерод

Для цитирования: Малых О. Н. Определение коренных источников алмазоносных россыпей по соотношению примесей азота и изотопного состава углерода в алмазах Южной Африки // Региональная геология и металлогения. 2025. Т. 32, № 2. С. 139–147. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2025_102_139-147

Original article

UDC 549.211.02:553.81.068.5(68)

doi:10.52349/0869-7892_2025_102_139-147

Keywords: diamonds, placers, kimberlite pipes, South Africa, nitrogen, carbon

For citation: Malykh O. N. Determination of diamondiferous placer primary sources by the ratio of nitrogen traces and carbon isotope composition in South African diamonds. *Regional Geology and Metallogeny*. 2025; 32 (2): 139–147. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2025_102_139-147



© О. Н. Малых, 2025

Определение коренных источников алмазоносных россыпей по соотношению примесей азота и изотопного состава углерода в алмазах Южной Африки

О. Н. Малых✉

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия,
Oleg_Malykh@karpinskyinstitute.ru✉

Аннотация. В Южной Африке расположены как коренные источники алмазов (кимберлитовые трубки), так и россыпи, образовавшиеся при денудации этих трубок. При этом спектр россыпей здесь крайне разнообразен: от аллювиальных до прибрежно-морских, морских и дефляционных. В статье на основе анализа содержания примесей азота и изотопного состава углерода в алмазах предпринята попытка определения коренных источников россыпных алмазов региона. Хотя исследователи (как зарубежные, так и российские) ранее приводили данные по этим характеристикам, анализ по установлению связи между алмазами из россыпей и трубок по указанным параметрам не проводился. В работе сделана первая попытка в этом направлении. Такой способ сопоставления алмазов из россыпей и их источников в дальнейшем нуждается в проработке: использовании более широкого спектра данных как по данному району, так и проверке на алмазных коренных и россыпных объектах других регионов.

Determination of diamondiferous placer primary sources by the ratio of nitrogen traces and carbon isotope composition in South African diamonds

O. N. Malykh✉

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,
Saint Petersburg, Russia, Oleg_Malykh@karpinskyinstitute.ru✉

Abstract. South Africa locates both primary sources of diamonds (kimberlite pipes) and the pipe washout induced placers. Notably, the range of the region's placers is incredibly wide: from alluvial to coastal-marine, marine, and wind-formed. In the paper, the author attempted to analyze nitrogen traces content and carbon isotope composition in the region's diamonds to develop a new method for determining primary sources of the region's placer diamonds. Although researchers (both foreign and Russian ones) characterized the diamond properties, they did not analyze connections between placer diamonds and pipes, using these parameters. The current paper is novel in this respect. This method of comparing placer diamonds and their sources requires further development by applying a wider data range both for this region and verifying it on primary and placer diamond sites in other regions.

ВВЕДЕНИЕ

Поиск связи между коренными и россыпными месторождениями алмазов является актуальной задачей, поскольку позволяет установить источники россыпей, уточнить историю их развития, направления и перспективы разработки этих месторождений.

Работами не одного поколения советских ученых-алмазников с середины XX в. по настоящее время на основе изучения типоморфных, оптических свойств алмазов из кимберлитов и россыпей Якутии была подтверждена корреляция между содержанием определенных микродефектов в алмазах и физическими условиями их образования (давление, температура) [1]. По этим свойствам оказалось возможным идентифицировать принадлежность не только алмазов к отдельным месторождениям, но и россыпей к конкретным коренным источникам.

Одновременно с изучением типоморфизма алмазов в СССР шла статистическая обработка их свойств, поиск связи между коренными трубками и россыпями. В 1980-е гг. В. К. Соболевым и Ю. А. Ключевым была предпринята попытка с помощью факторного анализа сравнить алмазы из россыпей и трубок европейской части СССР по азотным примесям и плейтлетс [2; 3]. Уже в начале нашего века Г. К. Хачатрян [4] с помощью статистического анализа попыталась сопоставить алмазы из коренных и россыпных алмазов различных регионов мира. В ее работах исследовались основные характеристики оптически

активных центров (форм азота и водорода) алмазов. В настоящее время автор статьи использовал кластерный анализ концентрации структурной примеси азота в алмазах Южной Африки с целью сопоставления россыпей и коренных источников региона [5]. В отзывах на работу было много критических замечаний о малой достоверности использования в исследовании данной характеристики алмазов. Для более глубокого изучения проблемы в исследовании были задействованы дополнительные параметры: суммарное содержание примеси азота (N_{tot}) и изотопный состав углерода ($\delta^{13}\text{C}$).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При анализе исходных данных использовались сведения из статей Р. Deines 1980–1990 гг. [6–9]. Анализировались характеристики алмазов из коренных алмазоносных трубок: Премьер, Коффифонтейн, Ягерсфонтейн и Финч. Привязка их приведена на рис. 1, характеристики — в таблице.

Как видно из таблицы, октаэдры и додекаэдры составляют незначительную часть выборки по каждой трубке. Остальная часть выборки была представлена обломками, трехгранниками, агрегатами, бесформенными кристаллами и сплюснутыми додекаэдрами. В целом такое распределение кристаллографических форм алмазов в трубках Южной Африки подтверждает сведения из российских

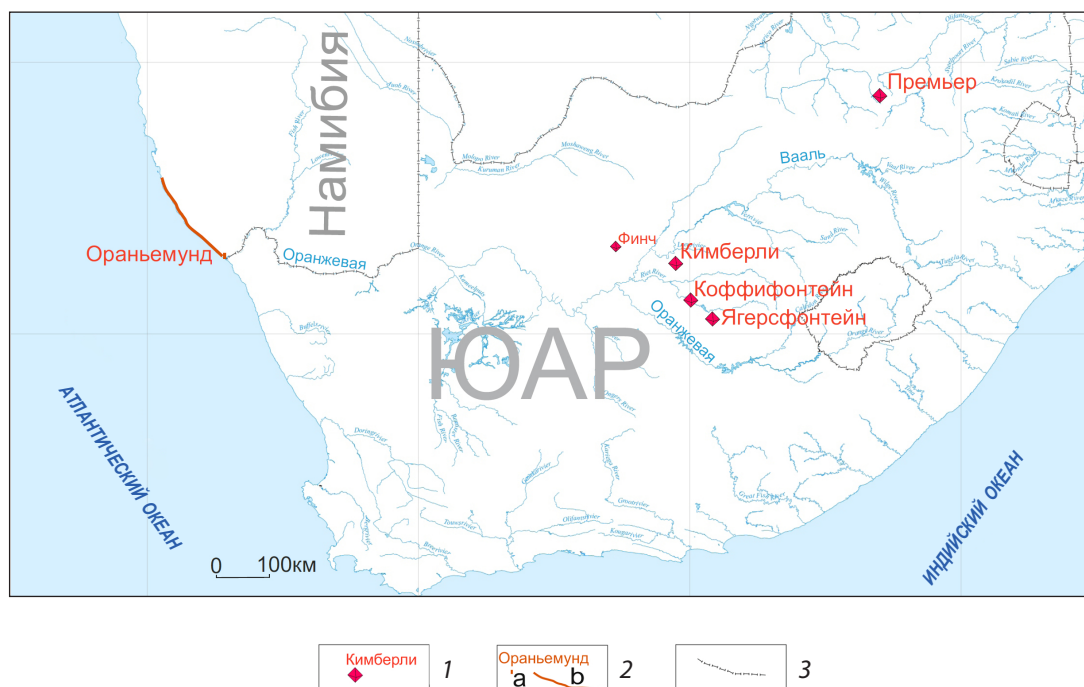


Рис. 1. Привязка алмазоносных объектов

1 — алмазы из промышленных трубок; 2 — алмазы, отобранные из россыпей: а — внесмальная, в районе п. Оранжевумунд, б — прибрежные и морские россыпи Намибии; 3 — государственные границы

Fig. 1. Linking of diamondiferous objects

1 — diamonds from commercial pipes; 2 — diamonds from placers: a — out-of-scale, from the Oranjemund region, b — coastal and marine placers of Namibia; 3 — state borders

**Суммарное содержание алмазов, количество октаэдров и додекаэдров
в выборках из продуктивных трубок Южной Африки**

Total diamond content, number of octahedra and dodecahedra in commercial pipe samples in South Africa

Кимберлитовая трубка	Количество октаэдров, шт.	Количество додекаэдров, шт.	Общее количество алмазов, шт.
Коффифонтейн	7	11	62
Премьер	9	30	66
Финч	2	22	48
Ягерсфонтейн	14	5	68

источников [10; 11], где в трубке Премьер октаэдры составляют 6 %, а ромбододекаэдры — 17 % от общего числа кристаллов в трубке.

Россыпные алмазы были отобраны из прибрежных и морских россыпей Намибии в полосе от п. Оранжемунд до зал. Элизабет (длиной более 200 км), а также из аллювиальных россыпей Намибии (р. Оранжевая) в районе п. Оранжемунд (рис. 1). Всего было отобрано 89 алмазов. Из них 32 содержали включения перидотитового генезиса, 44 — эклогитового [12; 13]. К сожалению, данных о форме россыпных алмазов по региону в статье не приведено.

По данным зарубежных исследователей, форма кристаллов синтетических алмазов зависит от физических условий их формирования [14] (рис. 2).

Согласно данным отечественных исследователей, этот вывод также верен и для природных алмазов [1]. Учитывая, что алмазы октаэдрической и додекаэдрической форм соответствуют определенным областям на P, T-диаграмме (рис. 2), автор попытался выделить для каждой разновидности кристаллов из конкретной промышленной трубки более узкий, характерный диапазон на диаграмме $N_{\text{tot}}/\delta^{13}\text{C}$, а затем уже сравнить их на данной диаграмме с характеристиками алмазов из россыпей.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Были составлены диаграммы в системе координат $N_{\text{tot}}/\delta^{13}\text{C}$ для октаэдров и додекаэдров коренных

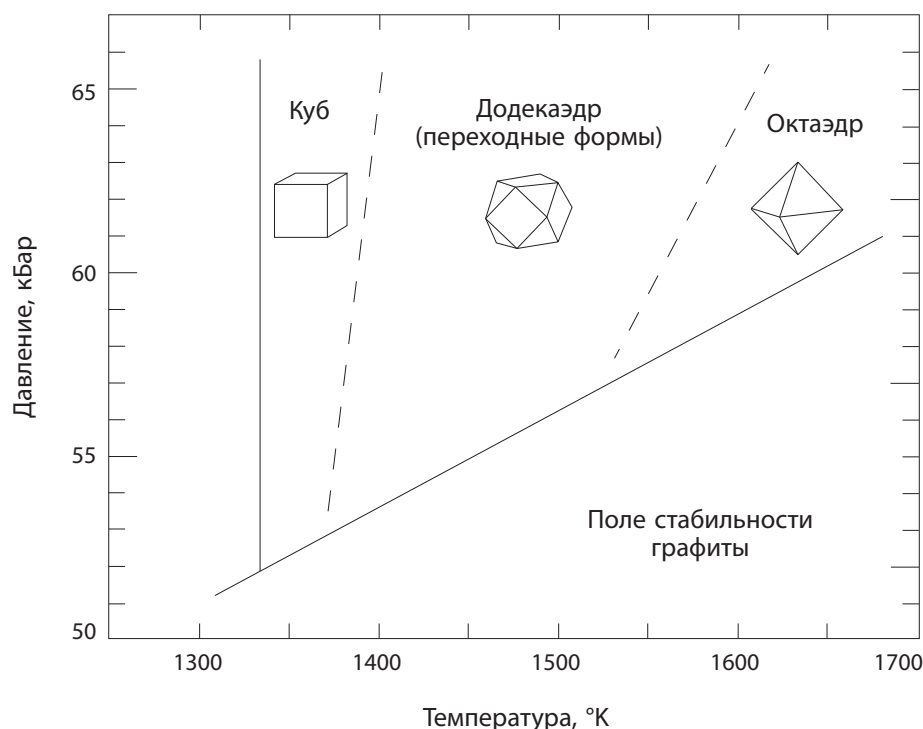


Рис. 2. Диаграмма давление–температура для полей роста различных форм синтетических алмазов

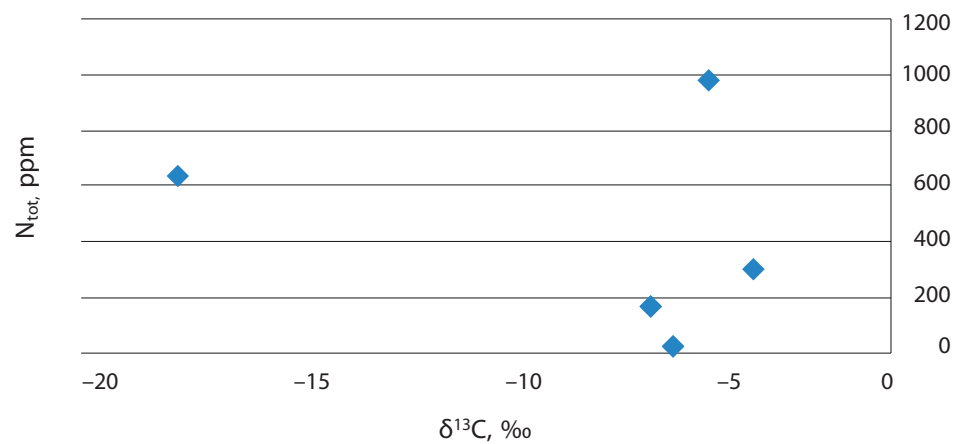
Источник: по [14]

Fig. 2. Pressure–temperature diagram for growth fields of synthetic diamonds varied in shape

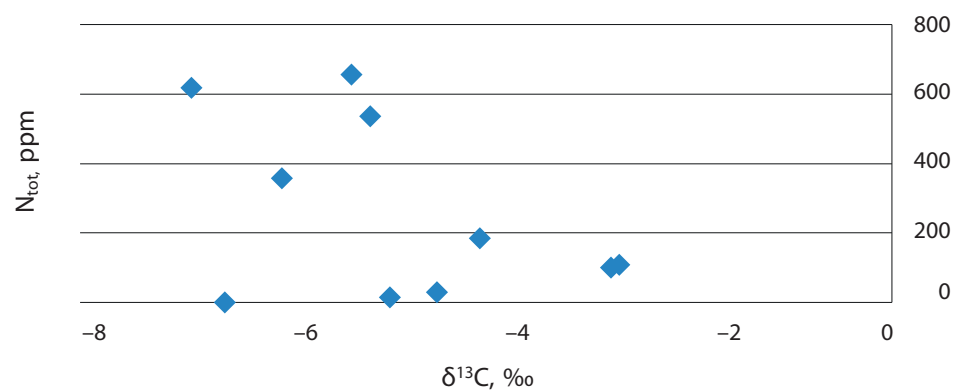
Source: from [14]

Доекаэдры

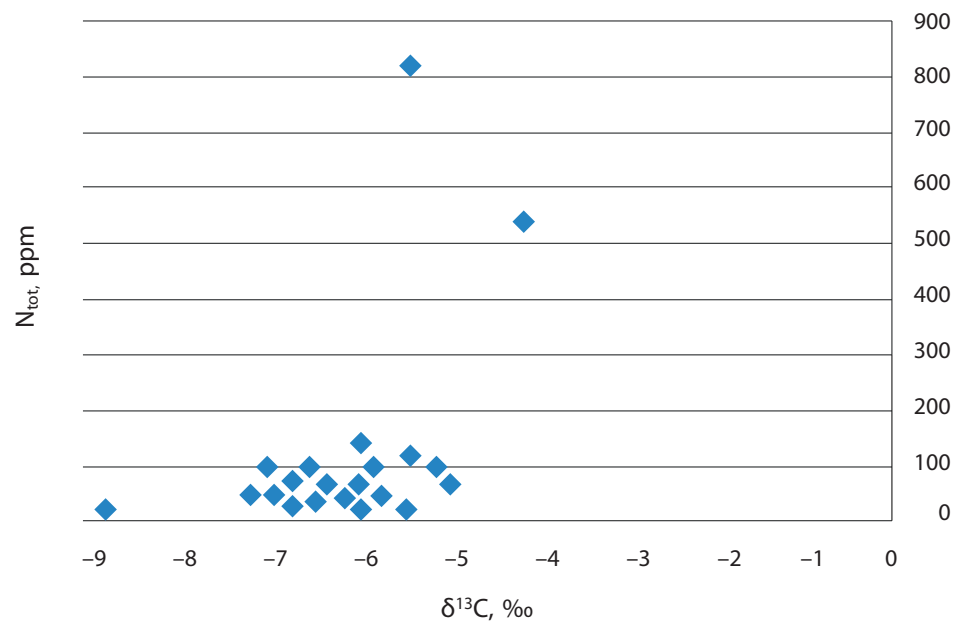
Ягерсфонтейн



Коффифонтейн



Финч



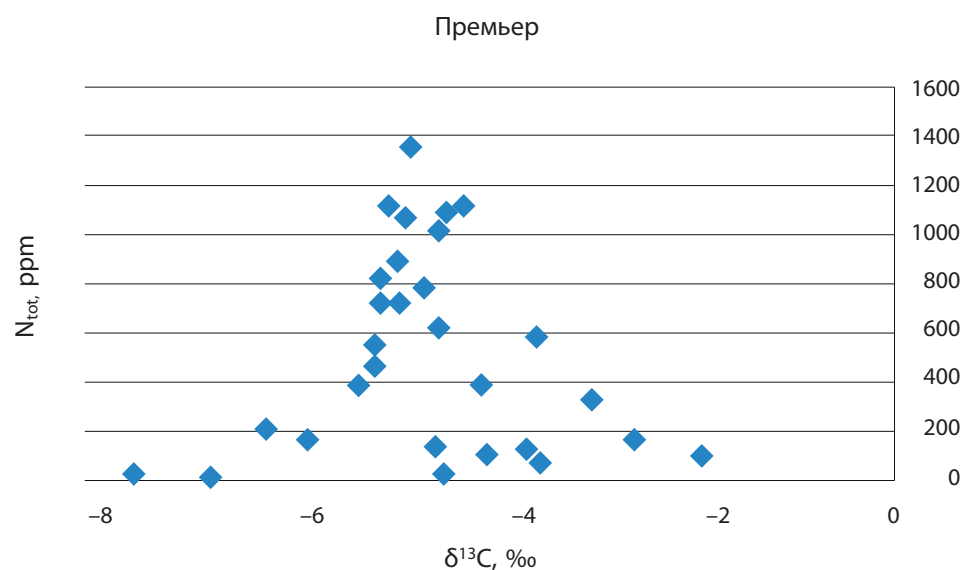
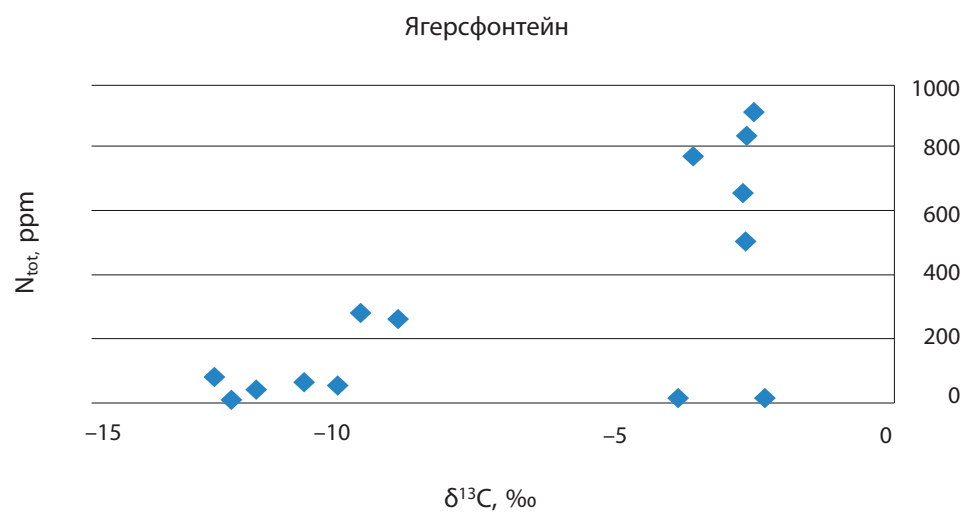
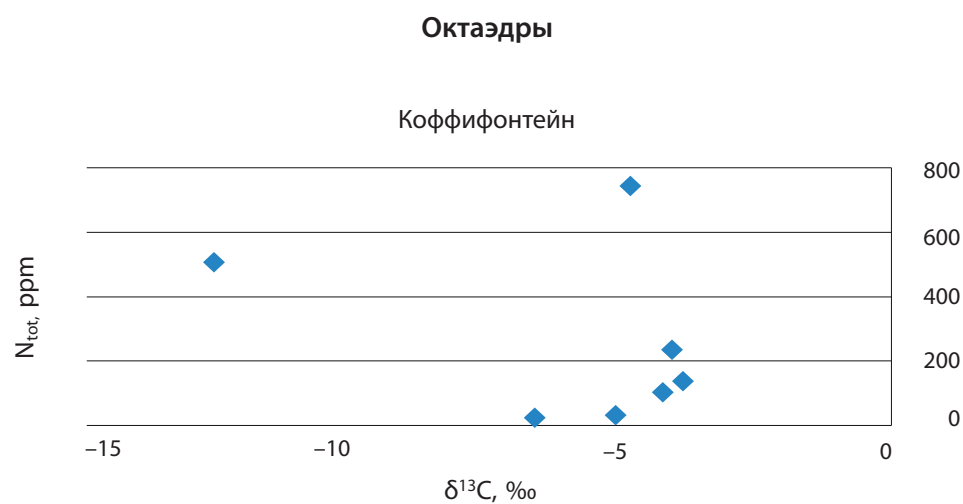


Рис. 3. Диаграммы в координатах $N_{\text{tot}}/\delta^{13}\text{C}$ по алмазам додекаэдрической формы промышленных кимберлитов Южной Африки

Fig. 3. Diagrams in $N_{\text{tot}}/\delta^{13}\text{C}$ coordinates for dodecahedral diamonds from commercial kimberlites in South Africa



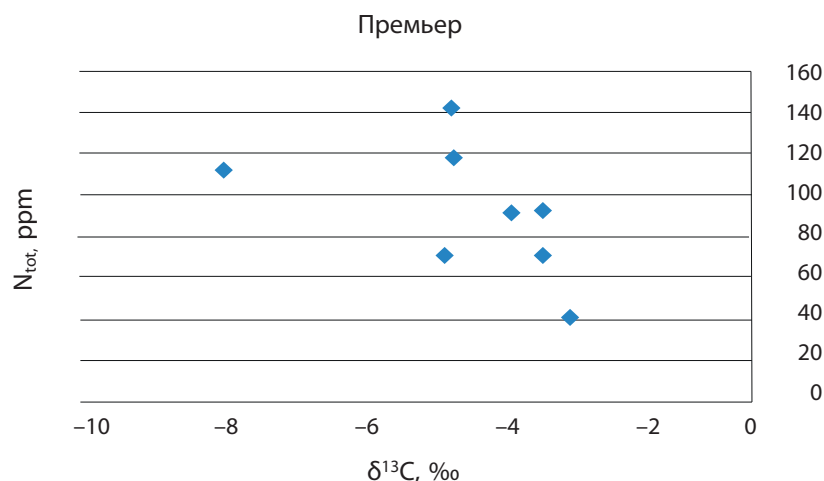


Рис. 4. Диаграммы в координатах $N_{\text{tot}}/\delta^{13}\text{C}$ по алмазам октаэдрической формы промышленных кимберлитов Южной Африки
Источник: по [7; 8]

Fig. 4. Diagrams in $N_{\text{tot}}/\delta^{13}\text{C}$ coordinates for octahedral diamonds from commercial kimberlites in South Africa
Source: from [7; 8]

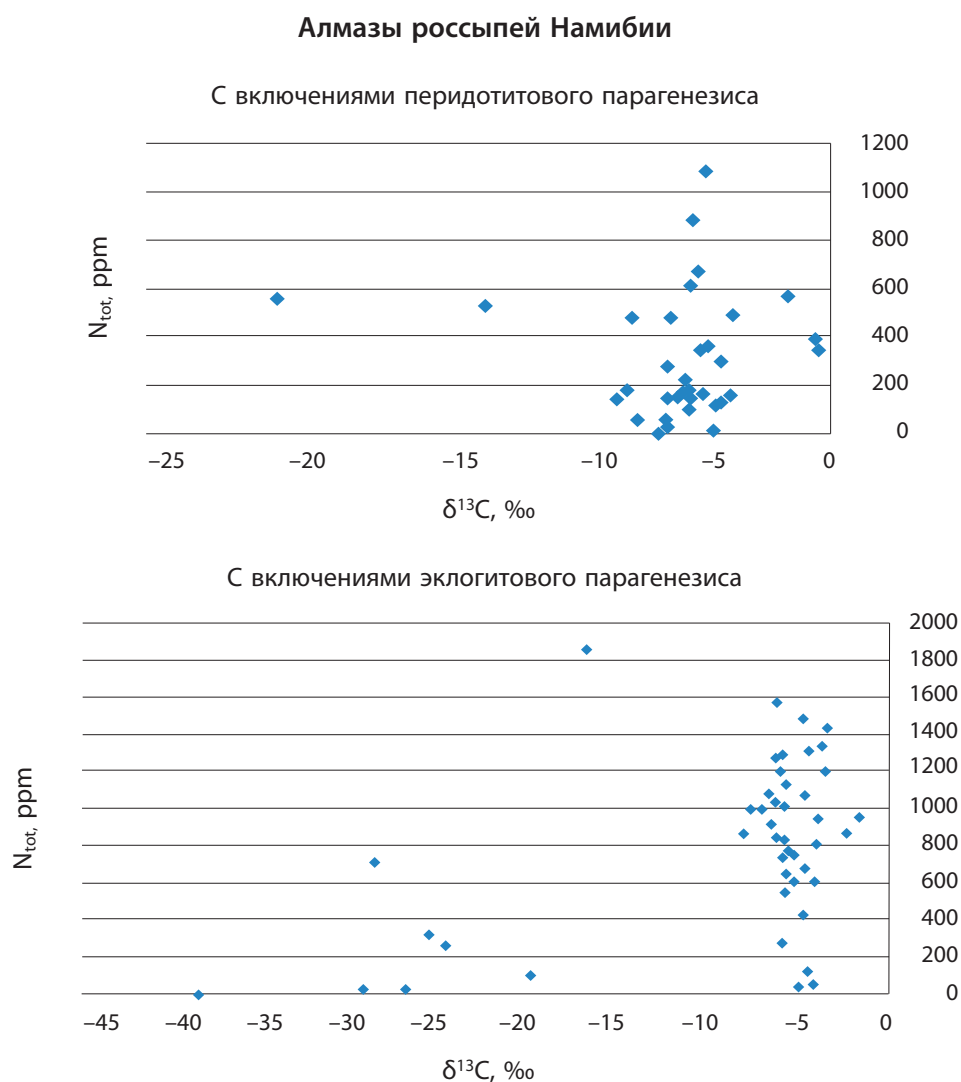


Рис. 5. Диаграммы в координатах $N_{\text{tot}}/\delta^{13}\text{C}$ по различным парагенезисам включений из алмазов промышленных россыпей Намибии

Fig. 5. Diagrams in $N_{\text{tot}}/\delta^{13}\text{C}$ coordinates for various parageneses of inclusions in diamonds from commercial placers in Namibia

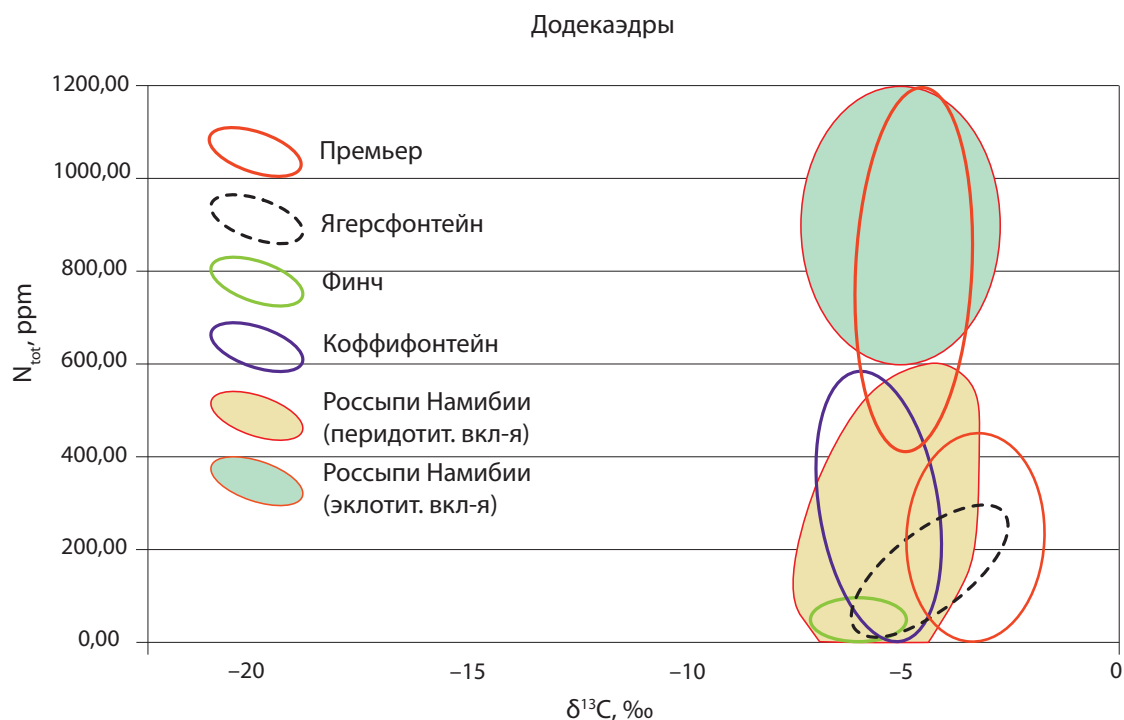


Рис. 6. Диаграммы в координатах $N_{tot}/\delta^{13}C$ для додекаэдрических алмазов из промышленных трубок Южной Африки и алмазов из промышленных россыпей Намибии

Fig. 6. Diagrams in $N_{tot}/\delta^{13}C$ coordinates for dodecahedral diamonds from commercial pipes in South Africa and diamonds from commercial placers in Namibia

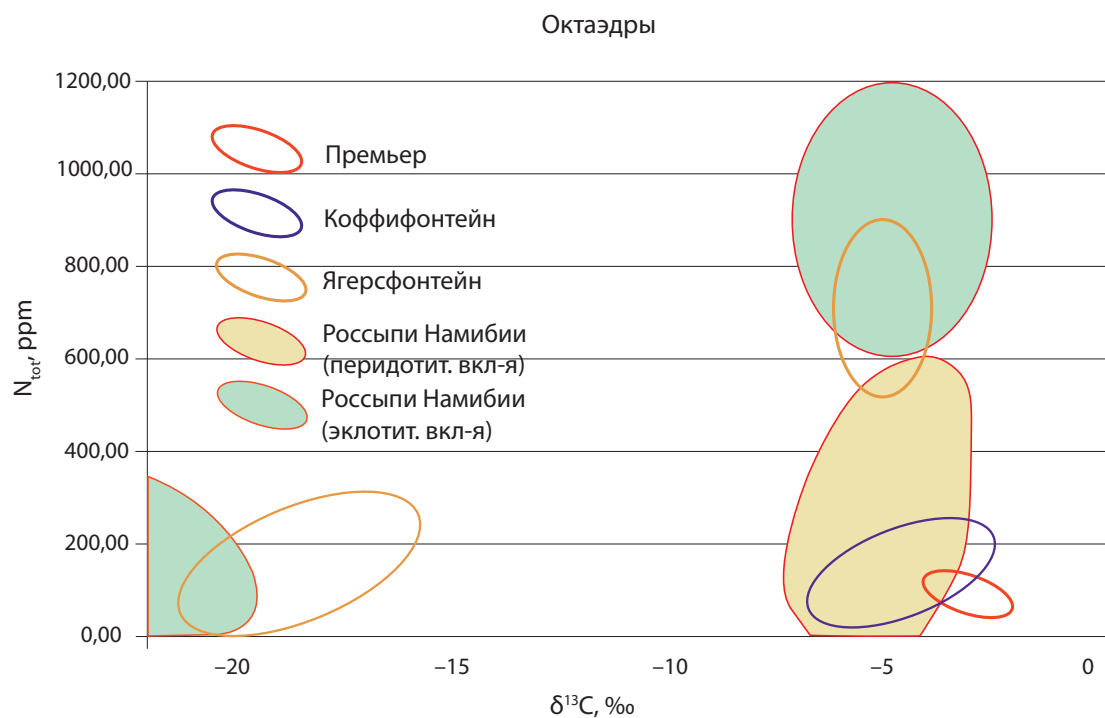


Рис. 7. Диаграммы в координатах $N_{tot}/\delta^{13}C$ для октаэдрических алмазов из промышленных трубок Южной Африки и алмазов из промышленных россыпей Намибии

Fig. 7. Diagrams in $N_{tot}/\delta^{13}C$ coordinates for octahedral diamonds from commercial pipes of South Africa and diamonds from commercial placers of Namibia

трубок Южной Африки, а также для россыпных алмазов с включениями экологитового и перидотитового парагенезиса. Получились соответствующие графики (рис. 3–5).

Для удобства сопоставления области наибольшего сгущения на данных графиках были обведены эллипсами. Результаты представлены на рис. 6 и 7.

На рис. 6 видна очевидная сходимость характеристик россыпей и трубок. Возможно, несколько заметно отличается слабоазотистая группа трубки Премьер. Аналогичное сходство характеристик алмазов из россыпей Намибии и трубок Ягерсфонтейн, Кофффонтейн прослеживается на рис. 7.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе впервые проведено сопоставление соотношения содержаний примесей азота и изотопного состава углерода в алмазах из россыпей и коренных источников южноафриканского региона. Как видно из материалов (рис. 5, 6), определенные кристаллографические разности алмазов промышленных трубок Южной Африки на диаграмме $N_{tot}/\delta^{13}C$ занимают довольно компактные области, очевидно, тонко характеризующие условия их образования. К сожалению, не удалось найти сведений о кристаллографических формах алмазов россыпей Намибии, участвующих в сопоставлении с коренными трубками. Тогда картина сопоставления была бы более достоверной.

В дальнейшем для развития методики исследований в этом направлении предполагается использовать больший массив данных и большее количество параметров. Необходимо сопоставить данные характеристики из россыпей и трубок других регионов. При наличии сведений по примесям (N_{tot} , NB и $\delta^{13}C$) в алмазах региона можно попробовать построение трехмерных диаграмм.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Зинчук Н. Н., Коптиль В. И. Типоморфизм алмазов Сибирской платформы. М. : Недра, 2003. 603 с.
2. Природные и синтетические алмазы / Г. Б. Бокий [и др.]. М. : Наука, 1986. 221 с.
3. Структурный типоморфизм северо-европейских алмазов / В. К. Соболев [и др.] // Доклады Академии наук СССР. 1983. Т. 269, № 1. С. 200–204.
4. Хачатрян Г. К. Азот и водород в алмазах мира как индикаторы их генезиса и критерии прогноза и поисков коренных алмазных месторождений : дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. М., 2016. 254 с.
5. Малых О. Н., Van der Westhuizen A. Кластерный анализ структурных примесей азота в алмазах Южной Африки: связь россыпей с коренными источниками // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333, № 6. С. 7–17. <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/6/3577>.
6. Appleyard C. M., Viljoen K. S., Dobbe R. A study of eclogitic diamonds and their inclusions from the Finsch kimberlite pipe, South Africa // *Lithos*. 2004. Vol. 77, nos. 1–4. P. 317–332. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.04.023>.
7. Deines P., Gurney J. J., Harris J. W. Associated chemical and carbon isotopic composition variations in diamonds from

Finsch and Premier kimberlite, South Africa // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1984. Vol. 48, no. 2. P. 325–342. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(84\)90254-0](https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90254-0).

8. Nitrogen and ^{13}C content of Finsch and Premier diamonds and their implications / P. Deines [et al.] // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1989. Vol. 53, no. 6. P. 1367–1378. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(89\)90069-0](https://doi.org/10.1016/0016-7037(89)90069-0).

9. Deines P., Harris J. W., Gurney J. J. The carbon isotopic composition and nitrogen content of lithospheric and asthenospheric diamonds from the Jagersfontein and Koffiefontein kimberlite, South Africa // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1991. Vol. 55, no. 9. P. 2615–2625. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(91\)90377-H](https://doi.org/10.1016/0016-7037(91)90377-H).

10. Харьков А. Д., Зинчук Н. Н., Зуев В. М. История алмаза. М. : Недра, 1997. 601 с.

11. Харьков А. Д., Зинчук Н. Н., Крючков А. И. Коренные месторождения алмазов мира. М. : Недра, 1998. 555 с.

12. Constraining diamond metasomatic growth using C- and N-stable isotopes: Examples from Namibia / P. Cartigny [et al.] // *Lithos*. 2004. Vol. 77, nos. 1–4. P. 359–373. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.03.024>.

13. Peridotitic diamonds from Namibia: Constraints on the composition and evolution of their mantle source / J. W. Harris [et al.] // *Lithos*. 2004. Vol. 77, nos. 1–4. P. 209–223. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.03.028>.

14. Tappert R., Tappert M. C. Diamonds in nature: A guide to rough diamonds. Heidelberg, Germany : Springer Berlin, 2011. 153 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-12572-0>.

REFERENCES

1. Zintchouk N. N., Koptil V. I. Typomorphism of the Siberian platform diamonds. Moscow: Nedra; 2003. 603 p. (In Russ.).
2. Natural and synthetic diamonds / G. B. Boki [et al.]. Moscow: Nauka; 1986. 221 p. (In Russ.).
3. Structural typomorphism of North European diamonds / V. K. Sobolev [et al.] // Reports of the USSR Academy of Sciences. 1983; 269 (1): 200–204. (In Russ.).
4. Khachatryan G. K. Nitrogen and hydrogen in the world's diamonds as indicators of their genesis and criteria for forecasting and searching for primary diamond deposits: PhD diss. (Geology and Mineralogy). Moscow; 2016. 254 p. (In Russ.).
5. Malykh O. N., Van der Westhuizen A. Cluster analysis of structural nitrogen impurities in Southern African diamonds: Placer relationship with kimberlite sources. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2022; 333 (6): 7–17. <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/6/3577>. (In Russ.).
6. Appleyard C. M., Viljoen K. S., Dobbe R. A study of eclogitic diamonds and their inclusions from the Finsch kimberlite pipe, South Africa. *Lithos*. 2004; 77 (3–4): 317–332. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.04.023>.
7. Deines P., Gurney J. J., Harris J. W. Associated chemical and carbon isotopic composition variations in diamonds from Finsch and Premier kimberlite, South Africa. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1984; 48 (2): 325–342. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(84\)90254-0](https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90254-0).
8. Nitrogen and ^{13}C content of Finsch and Premier diamonds and their implications / P. Deines [et al.]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1989; 53 (6): 1367–1378. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(89\)90069-0](https://doi.org/10.1016/0016-7037(89)90069-0).
9. Deines P., Harris J. W., Gurney J. J. The carbon isotopic composition and nitrogen content of lithospheric and asthenospheric diamonds from the Jagersfontein and Koffiefontein kimberlite, South Africa. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1991; 55 (6): 2615–2625. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(91\)90377-H](https://doi.org/10.1016/0016-7037(91)90377-H).
10. Kharkiv A. D., Zinchuk N. N., Zuev V. M. The history of diamond. Moscow: Nedra; 1997. 601 p. (In Russ.).
11. Kharkiv A. D., Zinchuk N. N., Kryuchkov A. I. Diamond primary deposits of the world. Moscow: Nedra; 1998. 555 p. (In Russ.).

12. Constraining diamond metasomatic growth using C- and N-stable isotopes: Examples from Namibia / P. Cartigny [et al.]. *Lithos*. 2004; 77 (1–4): 359–373. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.03.024>.

13. Peridotitic diamonds from Namibia: Constraints on the composition and evolution of their mantle source /

J. W. Harris [et al.]. *Lithos*. 2004; 77 (1–4): 209–223. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.03.028>.

14. Tappert R., Tappert M. C. *Diamonds in nature: A guide to rough diamonds*. Heidelberg, Germany: Springer Berlin; 2011. 153 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-12572-0>.

Олег Николаевич Малых

Ведущий инженер

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0009-0007-8981-3436>

SPIN-код РИНЦ 7277-9535

Oleg_Malykh@karpinskyinstitute.ru

Oleg N. Malykh

Leading Engineer

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky, Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0009-0007-8981-3436>

RSCI SPIN-code 7277-9535

Oleg_Malykh@karpinskyinstitute.ru

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: the author declares no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 21.10.2024

Одобрена после рецензирования 27.12.2024

Принята к публикации 20.06.2025

Submitted 21.10.2024

Approved after reviewing 27.12.2024

Accepted for publication 20.06.2025