



THE NATURE OF ULTRAMAFIC XENOLITHS IN THE BASALTS OF LANZAROTE ISLAND (CANARY ARCHIPELAGO)

V.A. Krylova ¹✉, I.F. Gertner ¹, G. Gutiérrez-Alonso ^{1,2}

¹ National Research Tomsk State University, 36 Lenin Ave, Tomsk 634050, Russia

² University of Salamanca, Salamanca 37008, Spain

ABSTRACT. Mineralogical and geochemical study was performed on peridotite xenolith hosted by amygdaline basalts of Lanzarote Island (Canary archipelago). Their modal composition corresponds to harzburgite. Remarkably, the petrographic composition of the rocks is marked by presence of plagioclase. The isochron shows the age of 267 ± 35 Ma, which might be the initial stage of opening a fragment of the Atlantic Ocean. The peridotites were apparently derived in the magmatic chamber formed by "underplating" triggered by interaction of mantle substrate with the lower crust material.

KEYWORDS: xenoliths; ultrabasic rocks; isotopic composition of minerals; geochemistry of rock-forming minerals; geochronological age; Canary archipelago

FUNDING: This research was supported by the Development Program of Tomsk State University (Priority-2030, IG.49.2022) and the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation as part of the implementation of the state assignment (Project 0721-2020-0041). This work involved equipment of the Shared Research Facilities "Analytical Center of Natural Systems Geochemistry" (Assignment 075-15-2021-693).

SHORT COMMUNICATION

Correspondence: Vera A. Krylova, krylova.vera1994@yandex.ru

Received: June 7, 2022

Revised: August 22, 2022

Accepted: August 24, 2022

FOR CITATION: Krylova V.A., Gertner I.F., Gutiérrez-Alonso G., 2022. The Nature of Ultramafic Xenoliths in the Basalts of Lanzarote Island (Canary Archipelago). *Geodynamics & Tectonophysics* 13 (4), 0663. doi:10.5800/GT-2022-13-4-0663

ПРИРОДА УЛЬТРАБАЗИТОВЫХ КСЕНОЛИТОВ В БАЗАЛЬТАХ ОСТРОВА ЛАНСАРОТЕ (КАНАРСКИЙ АРХИПЕЛАГ)

В.А. Крылова¹, И.Ф. Гертнер¹, Г. Гутьеррес-Алонсо^{1,2}

¹ Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050, Томск, пр-т Ленина, 36, Россия

² Саламанкский университет, 37008, Саламанка, Испания

АННОТАЦИЯ. Проведено минералого-геохимическое изучение перидотитового ксенолита из миндалекаменных базальтов острова Лансароте (Канарский архипелаг), модальный состав которого отвечает гарцбургиту. Одной из особенностей петрографического состава пород является присутствие небольшого количества (≤ 2 об. %) плагиоклаза. По результатам Sm-Nd изотопных исследований минералов и валового состава породы была получена изохрона, отвечающая возрасту 267 ± 35 млн лет, который может соответствовать начальному этапу раскрытия одного из фрагментов Атлантического океана. Высказано предположение, что образование перидотитов происходило в магматической камере, которая была сформирована в результате «андерплэтинга», за счет взаимодействия мантийного субстрата с материалом нижней коры.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ксенолиты; ультрабазиты; изотопный состав минералов; геохимия породообразующих минералов; геохронологический возраст; Канарский архипелаг

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Исследования выполнены при поддержке Программы развития Томского государственного университета (Приоритет-2030, ИГ.49.2022), а также при поддержке Минобрнауки РФ в рамках выполнения государственного задания (проект № 0721-2020-0041). В работе задействовались оборудование ЦКП «Аналитический центр геохимии природных систем» (соглашение № 075-15-2021-693).

1. ВВЕДЕНИЕ

Петрологические особенности ультраосновных ксенолитов из вулканитов атлантических островов позволяют проследить их эволюцию и особенности плюмового магматизма в пределах Атлантического хребта. Канарский архипелаг представляет собой серию островов вулканического происхождения, сформировавшуюся в результате активного магматизма в зоне трансформного разлома в срединном Атлантическом хребте. Вулканиты представлены широким спектром петрографических разновидностей, включающих толеитовые и субщелочные базальты, их щелочные разновидности (базаниты, тефриты), фонолиты и даже карбонатиты [Gómez-Ulla et al., 2017; Longpré, Felpeto, 2021; Sagan et al., 2020]. Практически во всех вулканитах островов Канарского архипелага встречаются ксенолиты ультраосновных пород. Одним из важных аспектов их генезиса является определение возраста образования. Ранее на примере вулканических пород острова Фуэртевентура было показано, что возраст базальтов варьируется в пределах 25–31 млн лет, что может соответствовать временному интервалу формирования океанического рифта Атлантики [Sagan et al., 2020]. Однако сам процесс плюмовой активности, завершившийся раскрытием океана, мог произойти гораздо раньше.

В результате изучения ксенолитов из базальтов острова Лансароте ранее были предложены различные модели источников магматизма региона. Так, в работе [Grachev, 2012] на основе He-Ar и Sr-Nd систематики ксенолитов из базальтов сделан вывод о смешении

двух источников – срединно-океанического и астеносферного – и отсутствии каких-либо признаков мантийного плюма. Другие исследователи [Gómez-Ulla et al., 2017; De Ignacio et al., 2006] связывают образование всего многообразия вулканических пород с плавлением литологически неоднородного мантийного источника под воздействием флюида или расплава в поднимающемся мантийном плюме. При этом рядом авторов [Thirlwall et al., 1997] отмечается наличие свидетельств смешения мантийного и корового компонента, что косвенно подтверждается присутствием ксенолитов габброидов и даже габбро-диоритов в вулканитах островов Ла Пальма и Лансароте [Neumann et al., 2000].

Полученные нами изотопно-геохимические и геохронологические данные позволяют продолжить дискуссию о происхождении ксенолитов в вулканитах Канарского архипелага и расширить представления о временных рубежах раскрытия Атлантического океана.

2. МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

В качестве основных методов исследований были задействованы: диагностика минерального состава ксенолитов, их геохимическая аттестация и определение возраста на основе изучения Sm-Nd изотопной системы.

Изучение состава минералов, анализ оптической ориентировки оливина, а также геохимические исследования ксенолитов и базальтов были выполнены в ЦКП «Аналитический центр геохимии природных систем» ТГУ (г. Томск). Анализ породообразующих и акцессорных минералов проводился на базе сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) Oxford с приставкой

энергодисперсионного анализатора "Inca". Анализ оптической ориентировки оливина проведен на основе детектора обратноотраженных электронов (EBSD). Сканирование выполнено при ускоряющем напряжении (HV) 20 кВ и токе пучка 20 нА. На образцы было нанесено углеродное токопроводящее покрытие в установке Quorum Technologies EMITECH K450X (Quorum Technologies, Laughton, UK).

Определения изотопов неодаима были сделаны в Кольском научном центре РАН (г. Апатиты). Технология данных определений и вероятные ошибки приведены в подписях к **табл. 1**. Вычисление параметров изохроны проводилось с помощью программного комплекса ISOPLOT.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Минералого-геохимические особенности состава ксенолита. Нами был изучен один из ультрабазитовых ксенолитов базальтов острова Лансароте (образец А-3). Его модальный состав отвечает гарцбургиту, в котором оливин и ортопироксен находятся почти в равных количествах, 45 и 43 об. % соответственно. Кроме того, в нем присутствует небольшое количество моноклинного пироксена (≤ 5 об. %) и основного плагиоклаза (≤ 2 об. %), акцессорные минералы представлены хромшпинелидом (~ 5 об. %). Границы с вмещающим миндалекаменным базальтом резкие, признаков взаимодействия с расплавом не наблюдается.

Состав оливина характеризуется изменением количества фаялитового минала от 7.7 до 16.1 мол. %, что соответствует форстериту и хризолиту. Установлено, что особенностью внутренней структуры оливина является наличие признаков внутрикристаллических

деформаций в виде полос излома (структура «кинд-банд»), которые характерны большей частью для реститовых гипербазитов. При этом изучение оптической ориентировки кристаллов оливина показало, что в них отмечается отчетливый максимум оси [001] (N_m), которая соответствует максимальному удлинению кристалла оливина, а максимумы других осей демонстрируют тенденцию к поясовому рассеянию. Подобная ориентировка оливинов была установлена в дунитах расслоенного Йоко-Довыренского дунит-троктолит-габбрового массива в Северном Прибайкалье [Krylova et al., 2021].

Состав пироксенов отвечает энстатиту и эндиопсиду с содержанием волластонитового минала до 25 %.

Наличие плагиоклаза было установлено только при изучении раздробленной фракции и подтверждено при исследовании под электронным микроскопом и микрозондовым анализом (**рис. 1**). Состав плагиоклаза соответствует лабрадору (An_{54-57}), в отличие от плагиоклаза из вмещающих ксенолит базальтов, состав которого меняется от олигоклаза (An_{20}) до лабрадора (An_{70}) [Krylova et al., 2021], в нем полностью отсутствует ортоклазовый минал.

По распределению редкоземельных элементов (РЗЭ) базальты с острова Лансароте и Тенерифе практически полностью соответствуют базальтам океанических островов [Krylova et al., 2021]. Однако для состава ксенолитов характерна геохимическая неоднородность. Так, для ксенолитов из базальтов острова Лансароте характерны высокие содержания РЗЭ, в 2–10 раз превышающие таковые в хондрите, а для ксенолитов из базальтов острова Тенерифе уровень содержаний РЗЭ более соответствует реститовым гипербазитам [Krylova et

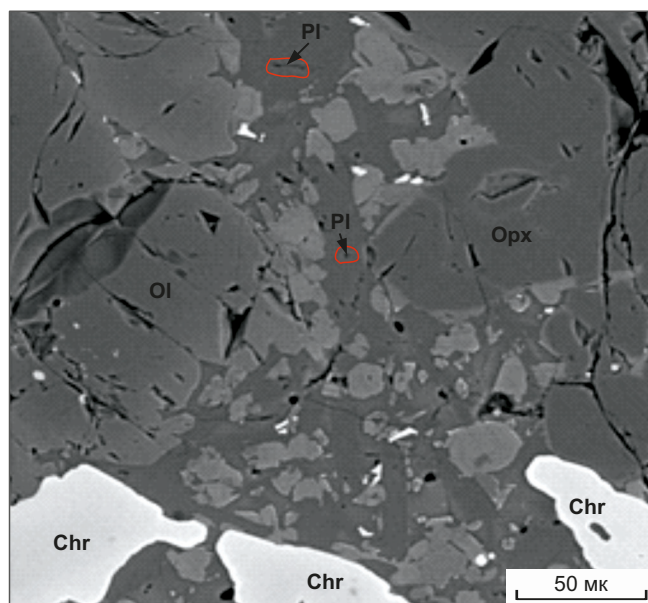


Рис. 1. Взаимоотношения минералов в ксенолите А-3. Изображение в обратнорассеянных электронах (СЭМ). ОI – оливин, Оpx – ортопироксен, Pl – плагиоклаз, Chr – хромшпинелид.

Fig. 1. Mineral relationships in xenolith A-3. Image in back-scattered electrons (SEM). Ol – olivine, Opx – orthopyroxene, Pl – plagioclase, Chr – Cr-spinel.

al., 2021]. При этом в целом уровень содержания редких элементов в изученном ксенолите превышает таковой примитивной мантии (за исключением Dy, Ho, Yb, Lu и Y).

Sm-Nd возраст. По результатам Sm-Nd изотопных исследований минералов и валового состава ксенолита была получена достаточно корректная изохрона, отвечающая возрасту 267 ± 35 млн лет с СКВО=0.4 (табл. 1; рис. 2). С одной стороны, данная датировка не

вписывается в существующие представления о временных рубежах раскрытия Атлантического океана. Однако существуют свидетельства того, что на окраине Африканского континента в интервале 330–300 млн лет произошло проявление базальтового магматизма, продукты которого по геохимическим параметрам отвечают породам, образованным в условиях внутримантийной геодинамической обстановки [Mezougane et al., 2022]. Учитывая то, что данные интрузивы перекрываются

Таблица 1. Изотопные характеристики ксенолита перидотита из вулканитов острова Лансароте (образец A-3)
Table 1. Isotopic characteristics of peridotite xenolith from volcanic rocks of Lanzarote Island (sample A-3)

Образец	Концентрация, мкг/г		Изотопные отношения		$T_{DM'}$ млн лет	$\epsilon_{Nd}(T)$
	Sm	Nd	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$		
A-3 WR	0.690	2.920	0.1431	0.512768 ± 9		
A-3 Pl	0.014	0.123	0.0660	0.512641 ± 21		
A-3 Ol	0.055	0.21	0.1588	0.512801 ± 19	430	+4.5
A-3 Px	0.024	0.072	0.1795	0.512844 ± 22		
A-3 Chr	5.980	15.28	0.1566	0.5127920 ± 20		

Примечание. Среднее значение отношения $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ в стандарте JNdi-1 за период измерений составило 0.512090 ± 13 (N=9). Ошибка в $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ отношениях составляет 0.4 % (2σ) – среднее значение из семи измерений в стандарте BCR-2 [Raczek et al., 2003]. Погрешность измерения изотопного состава Nd в индивидуальном анализе – до 0.005 %. При расчете изохрон использовались реальные ошибки измерения изотопного состава Nd, но не ниже уровня воспроизводимости измерения изотопного состава Nd (0.004 %). Холостое внутрилабораторное загрязнение по Nd равно 0.3 нг и по Sm – 0.06 нг. Точность определения концентраций Sm и Nd ± 0.5 %, для минералов с низкими содержаниями (доли ppm) – до ± 10 %. Изотопные отношения были нормализованы по отношению $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.7219$, а затем пересчитаны на отношение $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ в стандарте JNdi-1=0.512115 [Tanaka et al., 2000].

Note. The mean value of the $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ratio in the JNdi-1 standard through the measurement period was 0.512090 ± 13 (N=9). Error in $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ ratio is 0.4 % (2σ) – average of 7 measurements in BCR-2 standard [Raczek et al., 2003]. The measurement error of the Nd isotopic composition in the individual analysis is up to 0.005 %. In calculating isochrons, real errors of Nd isotope composition measurement were used, however not below the level of reproducibility of Nd isotope composition measurement (0.004 %). Blank intra-laboratory contamination for Nd is 0.3 ng and for Sm is 0.06 ng. Accuracy of Sm and Nd concentrations was 0.5 %, up to ± 10 % for low grade minerals (fractions of ppm). Isotope ratios were normalized to $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.7219$ and then recalculated to $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ratio in JNdi-1=0.512115 [Tanaka et al., 2000].

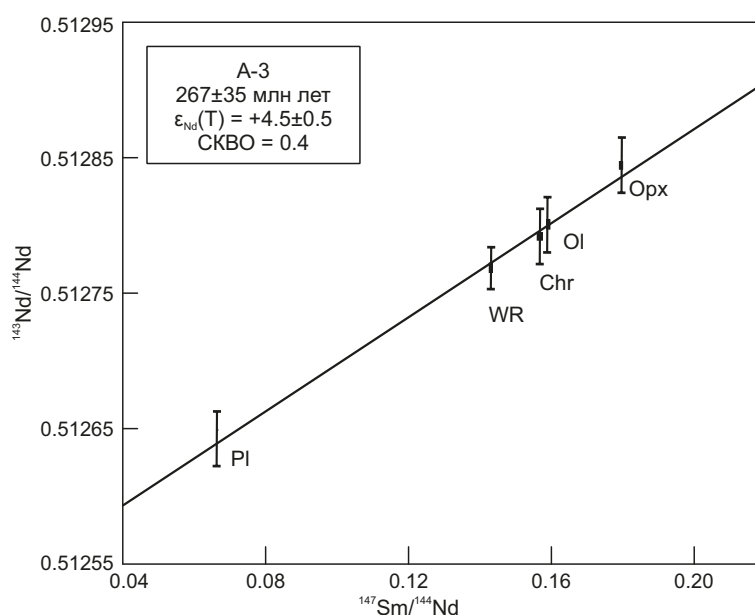


Рис. 2. Изохрона для ксенолита перидотита из вулканитов острова Лансароте. Pl – плагиоклаз, WR – валовый состав породы, Chr – хромшпинелид, Ol – оливин, Орх – ортопироксен.

Fig. 2. Isochron of peridotite xenolith from Lanzarote volcanic rocks. Pl – plagioclase, WR – whole rock, Chr – Cr-spinel, Ol – olivine, Opx – orthopyroxene.

более молодыми отложениями, датированными примерно в 200 млн лет, можно предполагать возраст формирования данных объектов, достаточно близкий к возрастным характеристикам изученного нами ксенолита. Вполне вероятно, что данное событие могло быть начальным этапом раскрытия одного из фрагментов Атлантического океана.

4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные геохимические и минералогические данные о составе перидотитового ксенолита свидетельствуют о том, что он обладает специфическими чертами, отличающими его от ранее изученных ксенолитов из базальтов острова Лансароте. Хотя в оливинах ксенолита наблюдаются признаки внутрикристаллических деформаций, больше характерные для реститовых гипербазитов, состав и ориентировка кристаллов в нем соответствуют скорее таковым оливинов из расслоенных интрузий. Так, для реститовых гипербазитов характерно наличие четких максимумов для кристаллических осей [100] и [010], соответствующих оптическим осям Ng и Np. При этом все же не стоит исключать того, что наблюдаемые ориентировки могут быть связаны также и с отжиговой рекристаллизацией. Присутствие плагиоклаза в составе ксенолита предполагает относительно небольшую глубину его формирования [Krylova, Gertner, 2020].

Анализируя совокупность полученных данных по минеральному составу ксенолита и изотопно-геохимическим особенностям, можно предложить в качестве одного из вариантов формирования перидотитовых ксенолитов острова Лансароте модель «андерплейтинга», которая подразумевает наращивание литосферной мантии при активном влиянии мантийного плюма и взаимодействии с веществом нижней коры. В данном случае можно реально объяснить присутствие основного плагиоклаза в составе мантийных ксенолитов.

Современные извержения вулканов (последний на острове Ла Пальма и предыдущий на острове Тенерифе) говорят о том, что активность данной магматической системы достаточно высока и вполне отвечает признакам формирования начальной стадии крупной изверженной провинции [Ernst, 2014].

Полученные результаты подтверждают предположение, что ксенолиты, присутствующие в базальтах Канарского архипелага, могут иметь неоднородную природу [Neumann et al., 2000], отвечающую разным глубинным уровням мантийного субстрата.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных минералого-геохимических и геохронологических исследований установлено следующее.

1. Состав и оптическая ориентировка кристаллов оливина в плагиоклазосодержащем гарцбургите из миндалекаменного базальта о. Лансароте существенно отличаются от таковых, характерных для реститовых гипербазитов.

2. Присутствие в составе ксенолита плагиоклаза предполагает относительно небольшую глубину его формирования.

3. Возможным механизмом образования изученного ксенолита является кристаллизация в магматической камере, которая была сформирована в результате «андерплейтинга», за счет взаимодействия мантийного субстрата с материалом нижней коры.

4. Возраст образования ксенолита может отвечать начальному этапу раскрытия одного из фрагментов Атлантического океана.

6. ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

The authors contributed equally to this article.

7. КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTERESTS

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Все авторы прочитали рукопись и согласны с опубликованной версией.

The authors have no conflicts of interest to declare. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

8. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

De Ignacio C., Munoz M., Sagredo J., Fernandez-Santin S., Johansson A., 2006. Isotope Geochemistry and FOZO Mantle Component of the Alkaline-Carbonatitic Association of Fuerteventure, Canary Island, Spain. *Chemical Geology* 232 (3–4), 99–113. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMGEO.2006.02.009>.

Ernst R.E., 2014. *Large Igneous Provinces*. Cambridge University Press, London, 653 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139025300>.

Gómez-Ulla A., Sigmarsson O., Gudfinnsson G.H., 2017. Trace Element Systematics of Olivine from Historical Eruptions of Lanzarote, Canary Islands: Constraints on Mantle and Melting Mode. *Chemical Geology* 449, 98–111. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2016.11.021>.

Grachev A.F., 2012. MORB-Like Mantle beneath Lanzarote Island, Canary Islands. *Russian Journal of Earth Science* 12, ES3004. <https://doi.org/10.2205/2012ES000515>.

Krylova V.A., Gertner I.F., 2020. Features of the Composition of the Main Rock-Forming Minerals of Basalts and Xenoliths of the Canary Archipelago (Spain). *Vestnik of Geosciences* 4 (304), 3–8 (in Russian) [Крылова В.А., Гертнер И.Ф. Особенности состава главных породообразующих минералов базальтов и ксенолита Канарского архипелага (Испания) // Вестник геонаук. 2020. Т. 4. № 304. С. 3–8]. <https://doi.org/10.19110/geov.2020.4.1>.

Krylova V.A., Gutiérrez-Alonso G., Gertner I.F., Krasnova T.S., 2021. Petrofabric and Geochemical Features of Ultramafic Rocks on the Example of Restite Metamorphites of the Kuznetsk Alatau (Western Siberia), Olivine Cumulates of the Yoko-Dovyren Layered Massif (Northern Cisbaikalia) and Their Analogues from Ultrabasic Xenoliths of the Canary

Islands (Spain). Vestnik Saint Petersburg University. Earth Sciences 66 (4), 706–722 (in Russian) [Крылова В.А., Гутиеррес-Алонсо Г., Гертнер И.Ф., Краснова Т.С. Петроструктурные и геохимические особенности ультрамафитов на примере реститовых метаморфитов Кузнецкого Алатау (Западная Сибирь), оливиновых кумулатов Йоко-Довыренского расслоенного массива (Северное Прибайкалье) и их аналогов из ксенолитов ультрабазитов Канарского архипелага (Испания) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2021. Т. 66. № 4. С. 706–722]. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2021.404>.

Longpré M.-A., Felpeto A., 2021. Historical Volcanism in the Canary Islands; Part 1: A Review of Precursory and Eruption Parameter Estimates, and Implications for Hazard Assessment. Journal of Volcanology and Geochemical Research 419, 107363. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2021.107363>.

Mezougane H., Aissa M., Essalhi M., Moussaid A., Souiri M., Touil A., Bilal E., Souiah M., 2022. New Petro-Geochemical Data on Carboniferous Mafic Rocks in the Achemmach Area (NW, Fourhal Basin, Moroccan Central Massif). Minerals 12 (5), 622. <https://doi.org/10.3390/min12050622>.

Neumann E.R., Sorensen V.B., Johnsen K., 2000. Gabbroic Xenoliths from La Palma, Tenerife and Lanzarote, Canary

Island: Evidence for Reactions between Mafic Alkaline Canary Islands Melts and Old Oceanic Crust. Journal of Geochemistry and Geothermal Research 103 (1–4), 313–342. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(00\)00229-8](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(00)00229-8).

Raczek I., Jochum K.P., Hofmann A.W., 2003. Neodymium and Strontium Isotope Data for USGS Reference Materials BCR-1, BCR-2, BHVO-1, BHVO-2, AGV-1, AGV-2, GSP-1, GSP-2 and Eight MPI-DING Reference Glasses. Geostandards and Geoanalytical Research 27 (2), 173–179. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.2003.tb00644.x>.

Sagan M., Heaman L.M., Pearson D.G., Lao Y., Stern R.A., 2020. Removal of Continental Lithosphere beneath the Canary Archipelago Revealed a U-Pb and Hf/O Isotope Study of Modern Sand Detrital Zircons. Lithos 362–363. 105448. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2020.105448>.

Tanaka T., Togashi S., Kamioka H., Amakawa H., Kagami H., Hamamoto T., Yuhara M., Orihashi Y. et al., 2000. JNdi-1: A Neodymium Isotopic Reference in Consistency with Lajolla Neodymium. Chemical Geology 168 (3–4), 279–281. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(00\)00198-4](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(00)00198-4).

Thirlwall M.F., Jenkins C., Virson P.Z., Matthey D.P., 1997. Crustal Interaction during Construction of Ocean Islands: Pb-Sr-Nd-O Isotope Geochemistry of Shield Basalts of Gran Canaria, Canary Islands. Chemical Geology 135 (3–4), 233–262. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(96\)00118-0](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(96)00118-0).