

УДК 553 21/24

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ КАРБОНАТИТОВ — МЕТОД ПАЛЕОРЕКОНСТРУКЦИЙ

Академик РАН Л. Н. Когарко^{1,*}, Р. В. Веселовский^{2,3}

Поступило 13.04.2018 г.

В настоящее время активно развиваются три модели геодинамических условий формирования карбонатитов — ценных источников редкометалльного сырья: генерация карбонатитовых расплавов в пределах литосферной мантии; связь карбонатитов с зонами орогенеза; развитие карбонатитовых формаций в результате подъема с огромных глубин материала мантийных плюмов. Впервые с использованием современной модели “абсолютных” палеотектонических реконструкций, собственной и литературной баз данных показана генеральная приуроченность проявлений фанерозойского карбонатитового магматизма к крупным областям пониженных скоростей S-волн, расположенных в нижней мантии — зон генерации глубинных мантийных плюмов.

Ключевые слова: карбонатиты, Фанерозой, абсолютные палеореко­н­струк­ции, суперплюмы, крупные магматические провинции.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5652484267-70>

Карбонатиты составляют несколько процентов по распространённости и связаны главным образом со щелочными формациями, однако они имеют большое экономическое значение, так как обладают очень высоким потенциалом стратегических металлов, таких как ниобий и редкоземельные. В настоящее время весь международный рынок Nb и PЗЭ контролируется крупными месторождениями карбонатитов: Баюнь Обо (Китай), Араша, Лагос (Бразилия) и многие др. Анализ имеющихся баз данных [2] показывает, что подавляющее большинство карбонатитов расположено на континентах и приурочено к древним кратонам. Небольшое число карбонатитов развито в орогенных зонах и на океанических островах: Канарский архипелаг, о-ва Зеленого Мыса, о. Кергелен [2].

Геодинамический режим формирования карбонатитов активно обсуждают. Ряд исследователей рассматривают карбонатиты в тесной связи с подъёмом крупных объёмов глубинного мантийного материала с границы ядро — нижняя мантия [3]. Действительно, прослеживается ассоциация карбонатитов с крупными магматическими провинциями (LIPs), генезис которых,

по мнению большинства исследователей [3], определяла активность мантийных плюмов. Наши данные показали, что одни из крупнейших карбонатитов мира, расположенные в Полярной Сибири (Маймеча-Котуйская провинция, Гулинский массив), формировались синхронно с Сибирским суперплюмом ~250 млн лет назад [4] и приурочены к краевой зоне Сибирских пермо-триасовых траппов. Карбонатиты также широко представлены в крупных щелочных провинциях: четвертичной Восточно-Африканской, меловой Парана-Этендека, мел-палеогеновой Деканской и др. Однако далеко не все крупные магматические события связаны со щелочным и карбонатитовым магматизмом.

Исследования геохимии изотопов в карбонатитах показали, что в источниках этих пород присутствуют компоненты FOZO, EM1, HIMU, DMM [5], характерные для мантийных источников базальтов океанических островов (OIB). Геохимия изотопов благородных газов карбонатитов также подтверждает их связь с глубинными мантийными резервуарами. Находки карбонатов в виде включений в нижнемантийных алмазах [3] может также служить доказательством возможности генерации карбонатитовых расплавов на границе нижняя мантия — ядро, вероятно, в слое D" [3].

Однако имеющиеся экспериментальные исследования равновесий с участием CO₂ в области высоких температур и давлений, соответствующих термодинамическим условиям глубинных зон нижней мантии, не однозначны. Математиче

¹Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской Академии наук, Москва

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

³Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской Академии наук, Москва

*E-mail: kogarko@geokhi.ru

ское моделирование реакций с участием углерода [6] и экспериментальные исследования не подтверждают вероятность равновесного формирования карбонатных расплавов на больших глубинах главным образом в результате весьма низкого окислительного потенциала кислорода глубинных зон нижней мантии. При этом количественное моделирование частичного плавления поднимающегося с глубинных зон мантийного протолита в условиях с повышенным потенциалом CO_2 [3], а также экспериментальные работы по фазовым равновесиям карбонатов в условиях, отвечающих переходной зоне нижняя мантия—ядро убедительно показали возможность формирования карбонатитовых расплавов на глубинах, соответствующих границе ядро — мантия.

Одна из проблем принятия модели связи карбонатитов с глубинными мантийными плюмами — развитие в литосферной мантии метасоматизированных и карбонатизированных зон. Большое количество публикаций показывает, что эти явления развиты в континентальной литосфере и океанической [7]. На основании этих данных была предложена гипотеза возникновения карбонатитовых расплавов в результате частичного плавления карбонатизированного мантийного субстрата литосферы.

По нашему мнению, подъём глубинного мантийного протолита (плюма) вызывает частичное плавление в результате адиабатической декомпрессии на глубинах ~200–300 км. Этот процесс сопровождается выделением большого количества летучих компонентов, главным образом CO_2 , H_2O и расплавов, характеризующихся очень малыми степенями плавления протолита, которые — главные агенты карбонатного метасоматоза литосферной мантии.

Главная задача нашей работы — выявление закономерностей размещения проявлений фанерозойского карбонатитового магматизма по отношению к крупнейшим глобальным областям пониженных сейсмических скоростей в нижней мантии (LLSVP).

О существовании в нижней мантии Земли крупных плотностных неоднородностей, имеющих непосредственную связь со слоем D'' и отвечающих местам существенного (до 500–600 км) увеличения его мощности, известно довольно давно [1]. Имеются веские основания полагать, что эти крупные плотностные неоднородности в мантии во многом определяют характер глобальных процессов на Земле, таких как образование и распад суперконтинентов, истинное смещение полюса (TPW), работа геомагнитного динамо и др. Кроме того, последние исследования в этой

области [5] показали, что эволюция Сибирского внутриплитного магматизма на границе палеозойской и мезозойской эр также может иметь непосредственную связь с процессами, инициированными областями LLSVP.

Согласно современным представлениям ([1] и др.), в самых низах мантии существуют две обширные области, характеризующиеся пониженными скоростями S-волн: Африканская (“Tuzo”) и Тихоокеанская (“Jason”). Центры тяжести этих LLSVP-провинций расположены в плоскости экватора, практически симметрично относительно центра Земли, и имеют поперечные размеры ~8–10 тыс. км. Затухание поперечных волн в веществе LLSVP-провинций принято связывать с его повышенной температурой [1].

Основываясь на пространственной корреляции современных и реконструированных положений мест формирования крупных магматических провинций и кимберлитов с проекцией контура 1%-ного затухания S-волн на земную поверхность, этот контур было предложено называть зоной генерации мантийных плюмов (PGZ) (1). Важно отметить, что зона генерации плюмов находится над областью максимального градиента температур между конкретной LLSVP-провинцией и окружающим её веществом нижней мантии. Недавно на основе предположения о стабильности положения LLSVP-провинций относительно мантии во времени была разработана геодинамическая модель “абсолютных” движений литосферных плит для всего фанерозоя [8]. Согласно этой модели, порядка 80% проявлений внутриплитного магматизма (большие магматические провинции и кимберлиты) локализованы над зоной генерации мантийных плюмов.

В нашей работе использованы данные по 180 проявлениям карбонатитового магматизма со всего мира, возраст которых 0–500 млн лет. Построение “абсолютных” реконструкций мест проявления карбонатитового магматизма производили с шагом 10 млн лет при помощи программного обеспечения GPlates 2,0 с использованием модели глобальных вращений EarthByte, согласно которой для 0–100 млн лет конечные вращения происходят в системе координат подвижной горячей точки, а в интервале 100–500 млн лет применяют систему координат фиксированной горячей точки. При реконструкции использовали полюса Эйлера, вычисленные для основных континентальных единиц в интервале 140–540 млн лет назад и скорректированные с учётом истинного смещения полюса (TPW) (8).

С использованием созданной нами и литературной [2] баз данных по карбонатитам с помощью

модели “абсолютных” палеореко­н­струкций были определены положения карбонатитовых комплексов в координации с проекциями на земную поверхность трёх LLSVP-областей, соответствующих Африканскому, Тихоокеанскому, Сибирскому плюмам (рис. 1).

Анализ приведённых реконструкций показывает (рис. 1), что из 180 проявлений карбонатитового магматизма с возрастом не более 500 млн лет, 118 (66%) проецируется в центральные или периферические области Африканской LLSVP, что можно рассматривать как указание на их генетическую связь с мантийными плюмами. Напротив, ~25% проявлений карбонатитов (Китай, Кольский п-ов) приурочена к зонам повышенных скоростей S-волн, интерпретируемых как области стагнации субдцировавших палеослабов [1]. Этот вывод может свидетельствовать об уникальной геодинамической природе рассматриваемой части карбонатитов, поскольку подобное соответствие не выявлено ни для кимберлитового магматизма, ни для крупных магматических провинций.

Практически полное отсутствие карбонатитов из рассмотренного возрастного интервала в области Тихоокеанской LLSVP может быть объяснено, с одной стороны, генерацией карбонатитов к континентам с мощной литосферой (кратонам), а с другой, с продолжительным существованием океанской тонкой литосферы над

этой областью, известные проявления карбонатного и кимберлитового магматизма в которой единичны.

Таким образом, размещение фанерозойских проявлений карбонатитового магматизма в системе глобальных “абсолютных” палеотектонических реконструкций даёт значительные основания предполагать генетическую связь этих реконструкций с областями генерации мантийных плюмов (PGZ), что является важным доводом в пользу глубинного (мантийного) источника тепла при формировании карбонатных магм. В то же время значительная часть (в среднем до 30%) карбонатитов формировалась на существенном удалении от зон генерации мантийных плюмов, что может рассматриваться, в том числе как указание на относительно малоглубинный источник карбонатных магм.

Работа создана при поддержке федерального бюджета по программе Президиума РАН № 0137–2018–0039 по теме I.48П.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Torsvik T. H., Van der Voo R., Doubrovine P., Burke K., Steinberger B., Ashwald L. D., Trønnes R. G., Webb S. J., Bull A. L. Deep Mantle Structure as a Reference Frame for Movements in and on the Earth // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. 2014. V. 111. № 24. P. 8735–8740.

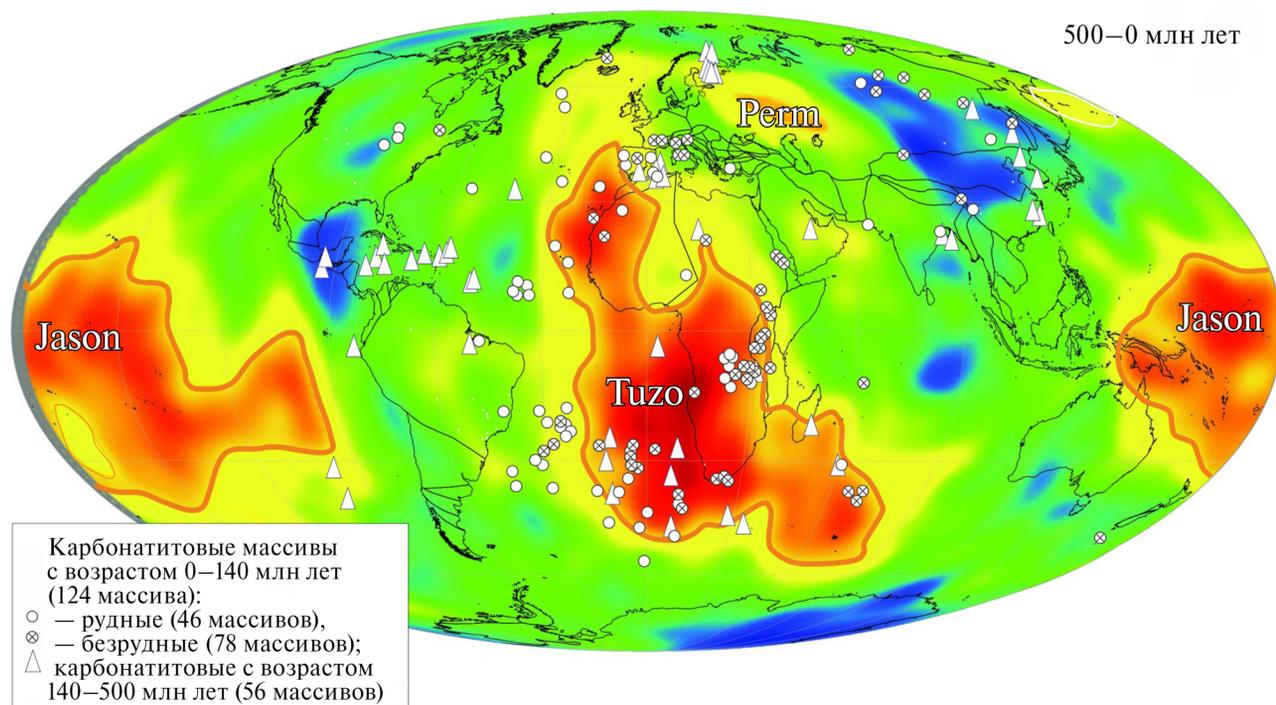


Рис. 1. Абсолютная реконструкция проявлений карбонатитов и контур аномалии скоростей S-волн.

2. *Woolley A. R., Kjarsgaard B. A.* Carbonatite Occurrences of the World: Map and Database. Geol. Surv. Canada. Open File 5796, 1 CD-ROM plus 1 map. 2008.
3. *Ernst R. E.* Large Igneous Provinces. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2014. 666 p.
4. *Kogarko L., Zartman R. A.* Pb Isotope Investigation of Guli Massif, Maymecha-Kotuy Alka-line-Ultramafic Complex, Siberian Flood Basalt Province, Polar Siberia // Mineral. and Petrol. 2007. V. 89. P. 113–125.
5. *Bell K.* Carbonatites. Genesis and Evolution. L.: Unwin Hyman, 1989. 618 p.
6. *Kaminsky F.* The Earth's Lower Mantle. B.: Springer, 2017. 331 p.
7. *Kogarko L. N., Henderson C. M. B., Pacheco H.* Primary Ca-Rich Carbonatite Magma and Carbonate-Silicate-Sulphide Liquid Immiscibility in the Upper Mantle // Contribs Mineral. and Petrol. 1995. V. 121. P. 267–274.
8. *Domeier M., Torsvik T. H.* Plate Tectonics in the Late Paleozoic // Geosc. Frontiers. 2014. V. 5. P. 303–350.

GEODYNAMICS OF CARBONATITES FROM THE PALEORECONSTRUCTION

Academician of the RAS **L. N. Kogarko, R. V. Veselovskiy**

Received April 23, 2018

Carbonatite are of a great economic importance because this rocks contain valuable rare metals. At present tree models of geodynamic regime of carbonatites formation are actively develop. 1- the generation of carbonatite melts within the lithospheric mantle, 2- the close connection of carbonatites with the zones of orogenesis, 3- a large group of carbonatites links to deepseated mantle plumes. For the first time using the modern model of “absolute” paleotectonic reconstructions and large database was showed the general connection of Phanerozoic carbonatites to the large areas of low velocities of S-waves located in the lower mantle — zones of the generation of deep mantle plumes.

Keywords: Carbonatites, Phanerozoic, Absolute paleoreconstructions, Superplume, Large igneous provinces.