



УДК 552.323

© 2012

О. В. Арясова, Я. М. Хазан

Взаимосвязь между траппами, карбонатитами и кимберлитами и ее возможные причины

(Представлено академиком НАН Украины В. И. Старостенко)

Опираясь на наиболее полные современные базы данных платобазальтов, карбонатитов и кимберлитов, продемонстрировано существование пространственно-временных корреляций между этими тремя типами внутриплитового магматизма. Указанные корреляции повсеместно проявляются в Евразии и Африке, но отсутствуют в Северной Америке. Вероятной причиной корреляций является взаимодействие с литосферой “головы” гигантского мантийного плюма, которое практически одновременно вызывает магматизм на территории размером порядка первых тысяч километров, объем и состав последнего зависит от тектонического строения и теплового состояния литосферы. Отличие Евразии и Африки, с одной стороны, и Северной Америки — с другой, предположительно связано с тем, что за последние 350 млн лет Северная Америка не размещалась над африканской и тихоокеанской зонами генерации плюмов.

В настоящее время в научной литературе активно обсуждается вопрос о возможном существовании связей между тремя типами внутриплитового магматизма — траппами, карбонатитами и кимберлитами [1–3], а также возможность того, что генерация магматитов вызывается плюмовой активностью. В настоящем сообщении изложены результаты проверки существования корреляции между этими тремя типами внутриплитового магматизма с использованием наиболее полных современных баз данных платобазальтов (<http://www.largeigneousprovinces.org/record>), карбонатитов [4] и кимберлитов [5], показано, что в фанерозое корреляции между платобазальтами и, по крайней мере, одним из типов ультраосновного магматизма повсеместно наблюдаются в Евразии и Африке, но отсутствуют в Северной Америке, а также обсуждаются причины этого различия.

Гигантские провинции изверженных пород (Large Igneous Provinces — LIPs), т. е. континентальные платобазальты (или траппы) и океанические плато, представляют собой огромные по площади, объему (во многих случаях > 1 млн км²; > 1 млн км³) и кратковременные (1–5 млн лет), или состоящие из кратковременных импульсов, внутриплитовые базальтовые излияния. LIPs не имеют отношения к процессам спрединга или субдукции, однако

с ними могут быть связаны региональные поднятия, рифтообразование, разрушение континентов. Перечень известных LIPs и ссылки на оригинальные работы можно найти на сайте LIP-комиссии.

Карбонатиты обнаружены на всех континентах, включая Антарктику, и некоторых океанических островах (Кергелен, Кэйп Верде, Канарские острова). Суммарный объем карбонатитовых излияний составляет менее 1% объема LIPs, но примерно в 100 раз превышает суммарный объем кимберлитовых проявлений. Карбонатиты экстремально обогащены редкими и рассеянными элементами и часто ассоциируются с промышленными редкометалльными месторождениями. Вязкость карбонатитов является очень низкой, поэтому скорость их доставки на поверхность так же велика, как и скорость доставки кимберлитов (десятки метров в секунду). Для карбонатитов, как и для кимберлитов, характерными являются кластерные внедрения. При этом наблюдается тенденция предпочтительного внедрения карбонатитовых проявлений в докембрийской кратонной обстановке [4].

В качестве причин, вызывающих магматизм такого гигантского масштаба, как платобазальты, рассматриваются мантийные плюмы, импактные события, рифтообразование и декомпрессионное плавление, а также вытеснение континентальной литосферы горячей астеносферой. Плюмовое объяснение (например, в публикациях [6, 7]) предполагает, что излияния платобазальтов возникают при первом контакте с литосферой глубинного мантийного плюма, который при приближении к подошве литосферы образует гигантскую (радиусом порядка 1000 км) “шапку” или “голову”. Основываясь на данных сейсмотомографии и палеорекострукции движений плит, Бурке с соавторами был сделан вывод [8], что извержения большинства фанерозойских платобазальтов, по-видимому, возникают под влиянием мантийных плюмов, формирующихся на границе мантия — ядро в так называемой зоне генерации плюмов, расположенной вдоль границы крупнейших неоднородностей в глубинной мантии (гигантских провинций пониженной скорости поперечных волн) и совпадающей с контуром понижения V_s на 1%. Ниже будет предполагаться справедливость плюмового объяснения происхождения LIPs.

Происхождение карбонатитов также связывается с мантийными плюмами. Помимо геохимических данных, свидетельствующих о присутствии в составе карбонатитов вклада глубинной мантии, повсеместно наблюдаются пространственные и временные корреляции карбонатитов и траппов. Эрнстом и Беллом [2] в ходе исследований на многих примерах продемонстрировано существование тесной связи между карбонатитовым и базальтовым типами платформенного магматизма. Эта связь включает пространственные корреляции: карбонатиты локализуются в зонах рифтогенеза, на сводовых поднятиях, а области проявления траппового магматизма приурочены к примыкающим к ним структурам прогиба — синеклизам и линейным прогибам [1], а также близость во времени [2] с некоторой, хотя не вполне определенной, тенденцией опережения карбонатитами траппов.

Идея о генерации кимберлитов мантийными плюмами, которая первоначально мотивировалась сходством изотопных характеристик кимберлитов и базальтов океанических островов [10], в настоящее время подтверждается геологическими, геохимическими и геофизическими данными [1–3, 9, 11, 12], установившими сублитосферное происхождение всех трех типов магм и их связь с крупномасштабным строением мантии. В дополнение к этому в публикации Торсвик и др. [3] показано, что 80% кимберлитов (1112 из 1395) моложе 320 млн лет (формирование Пангеи) в момент извержения проектировались, как и области излияния платобазальтов, на границу мантия — ядро не дальше $7^\circ \pm 5^\circ$ от контура понижения V_s на 1%.

Связь кимберлитовых и карбонатитовых извержений с трапзовыми излияниями во многих случаях является очевидной вследствие временной и пространственной близости. При этом, однако, обращает на себя внимание “антагонистичность” имеющих сходный мантийный источник и сходный состав карбонатитов и кимберлитов. В частности, более 70% кимберлитов проявляется на архейском фундаменте, в то время как более 90% карбонатитов обнаруживается на протерозойской коре [1, 4]. Для массивов карбонатитов и кимберлитовых трубок типичным является кустовое (кластерное) размещение, но при этом классические редкометалльные карбонатитовые массивы не сопровождаются алмазонасными кимберлитами, а на территории кимберлитовых полей, как правило, не встречаются классические карбонатиты [1]. Подавляющая часть карбонатитов располагается во внутренних и бортовых частях рифтовых зон, а с удалением от оси рифтогенных структур интенсивность проявления резко снижается. В то же время до 40% кимберлитов располагаются на удалении > 200 км от рифтовых структур. Более того, максимум алмазопродуктивности приходится на поля в пределах архейских кратонов, не затронутых рифтогенной активизацией [1]. Иначе говоря, эти магматиты занимают резко различающиеся тектонические позиции.

Характерный пример связи между траппами, карбонатитами и кимберлитами демонстрируют рис. 1, 2.

На рис. 1 показана область Танзанийского кратона на Кенийском поднятии вблизи траппов Афара, которые изливались 45–34 и 31–29 млн лет тому назад. Им предшествовали кимберлиты третичного возраста (53–40 млн лет), внедрившиеся на Танзанийском щите, и карбонатиты вблизи периферии щита, извержение которых началось 45 млн лет тому назад и продолжается по настоящее время (в этой области находится единственный на Земле действующий карбонатитовый вулкан Олдоньо Ленгаи). Существование Кенийского поднятия и окружающей его кольцевой рифтовой структуры, аномально низкие сейсмические скорости в мантии Танзанийского кратона и их радиальная анизотропия, по-видимому, свидетельствуют о том, что под Танзанийским кратоном существует восходящий плюм, который испытывает частичное плавление и растекается под прилегающие западную и восточную ветви Восточно-Африканского рифта [13].

Область Сибирских траппов (251–249 млн лет) иллюстрирует рис. 2. Восточнее этой области на периферии Анабарского щита располагаются нижнетриассовые кимберлитовые поля Оленек-Анабарской зоны и Красноярского края [Котуйское (1), Харамайское (2), Куранахское (3), Лучаканское (4), Дюкенское (5), Ары-Мастахское (6), Старореченское (7), Орто-Баргынское (8), см. цифры на карте-схеме], а между траппами и Анабарским щитом находится Маймеча-Котуйская провинция ультраосновных щелочных магматитов (250 млн лет). Расходящийся рой гигантских даек [2] указывает на существование в эпоху магматизма поднятия, центр которого предположительно находился в районе Норильска или несколько восточнее.

Необходимо в то же время отметить, что полный набор магматитов присутствует не во всех случаях. Среднепалеозойские кимберлиты Сибири связаны, вероятнее всего, с Виллойскими траппами, однако, отсутствуют карбонатиты, которые можно было определенно поставить им в соответствие (возможно, карбонатитовые месторождения хребта Сетте-Дабан). С траппами Кару (южная Африка) — Феррар (Антарктика) (183–179 млн лет), по-видимому, связаны карбонатиты Дуллстром-Эландсклооф, ЮАР (176 млн лет) и, очевидно, Доколвей, Свазиленд (203 млн лет), однако явно соответствующие им кимберлиты в настоящее время неизвестны (Шава, Зимбабве, 209 млн лет?), неизвестны также и платобазальты,

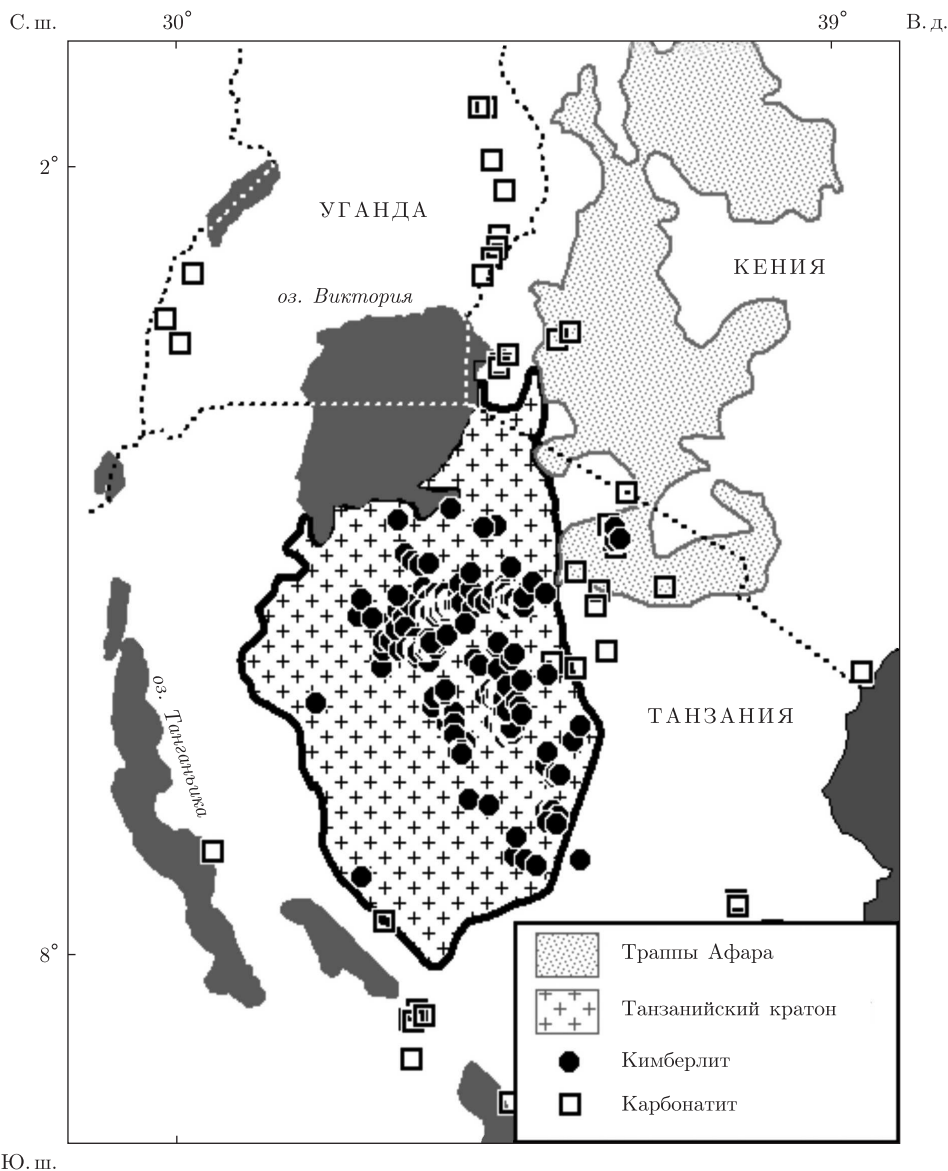


Рис. 1. Траппы Афара (45–34, 31–29 млн лет), карбонатитовые (45–0 млн лет) и кимберлитовые (53–40 млн лет) проявления

и карбонатиты, которые можно было бы поставить в соответствие кимберлитам Ботсваны (250–225 млн лет) и Замбии (220 млн лет).

Таким образом, анализ пространственно-временных соотношений между траппами, карбонатитами и кимберлитами свидетельствует о том, что внутриплитовые магматиты Евразии и Африки, возраст которых не превышает девонский, как правило, обнаруживают пространственно-временные корреляции, указывающие на то, что эти типы магматизма имеют некоторую общую причину, по-разному проявляющуюся в различной тектонической обстановке. В основном, ситуация выглядит так, как будто одна и та же причина, вызывающая магматизм (“голова” мантийного плюма?), воздействуя на обширную территорию размерами порядка первых тысяч километров, приводит к значительно различающимся следствиям

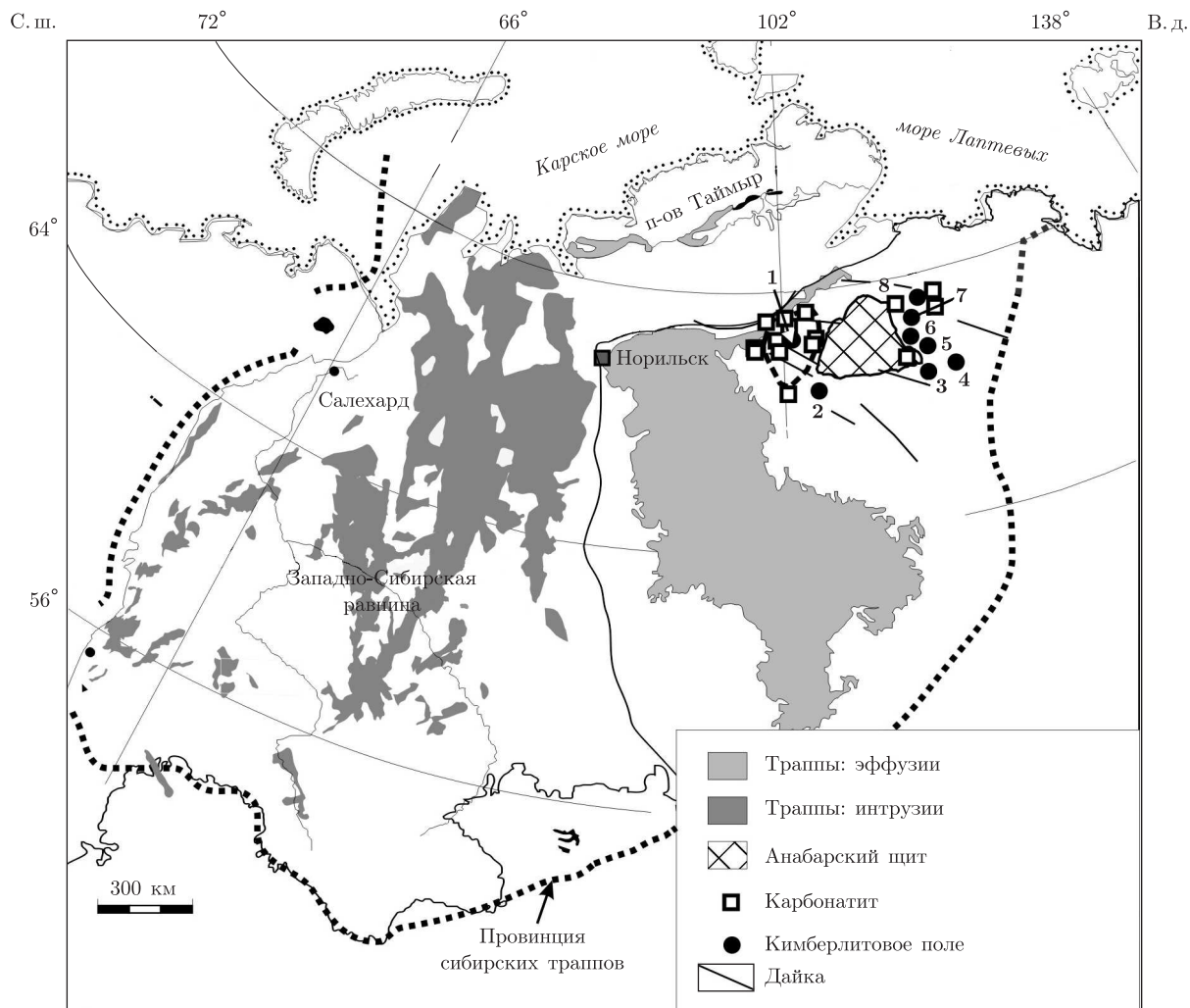


Рис. 2. Сибирские траппы (251–249 млн лет; светло-серое поле и темно-серое поле, карбонатиты Маймеча-Котуйской и Анабарской провинций щелочного магматизма (250 млн лет) и нижнетриассовые кимберлитовые поля Оленек-Анабарской зоны и Красноярского края

в зависимости от тектонической обстановки. В областях архейского и раннепротерозойского фундамента она вызывает генерацию кимберлитов, в рифтогенных зонах — карбонатитов, а областях прогиба — трапповых излияний. В этом случае, например, объяснение “антикорреляции” карбонатитов и кимберлитов становится тривиальным: карбонатиты не могут генерироваться в обстановке древних кратонов, а кимберлиты — в условиях, где литосфера недостаточно мощная и холодная. С этой схемой согласуется изотопная систематика всех трех типов магматитов, указывающая на присутствие в их составе глубинной составляющей.

Если справедлив описанный сценарий и некоторая область траппового магматизма располагается вблизи архейского щита, то можно ожидать проявления на щите кимберлитового магматизма. Не удивительно поэтому, что основные зоны на Украинском щите, оцениваемые по геолого-геофизическим данным как алмазоперспективные [14], располагаются вдоль границы Волынских траппов (рис. 3).

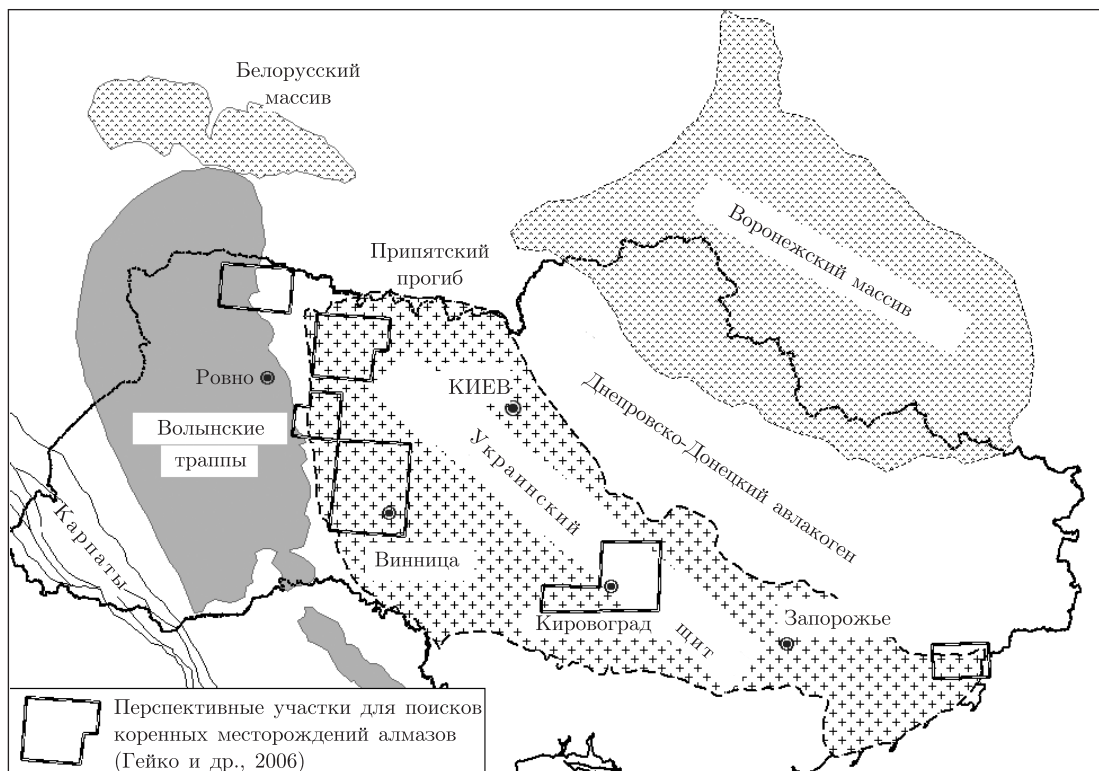


Рис. 3. Взаимное расположение траппов и перспективных для поиска коренных месторождений алмазов участков, выделяемых по геолого-геофизическим данным на Украинском щите) [14]

Совершенно другая ситуация наблюдается в Северной Америке (вместе с Гренландией), где в настоящее время известно около 1400 кимберлитовых [5] и 112 карбонатитовых [4] проявлений, а также более 80 событий, относимых к LIPs (в том числе 18 фанерозойского возраста). Несмотря на это, ни одного надежного соответствия между фанерозойскими трапповыми излияниями и кимберлитовыми или карбонатитовыми проявлениями установить не удастся.

Характерным примером является кимберлитовое поле Lac de Gras на кратоне Слэйв (Канада), где на момент опубликования базы данных [5] известно 198 кимберлитовых проявлений возрастом 74–47 млн лет, т. е. примерно 15% всех североамериканских кимберлитов. Несмотря на то что эпоха активного кимберлитового вулканизма на кратоне Слэйв совпадает по времени с повышенной магматической активностью по периферии Канады, однако прямых указаний на активизацию непосредственно под полем Lac de Gras нет. Тем не менее поскольку кимберлитовый магматизм требует высоких температур в источнике, интенсивный кимберлитовый вулканизм однозначно свидетельствует о термальном воздействии на подошву литосферы Канады. По-видимому, масштабы этого воздействия были недостаточны для проявления в виде сопутствующего базальтового магматизма. Заметим, что кимберлиты Канады, как показали Торсвик и др. [3], являются “аномальными” в том смысле, что это единственная группа кимберлитов возрастом ≤ 250 млн лет, сформировавшихся вдали от области генерации плюмов, расположенной над границей африканской и тихоокеанской областей пониженных скоростей поперечных волн на границе мантии и ядра. Это дополнительно подчеркивает, что гигантские мантийные плюмы возникают только в определенных

условиях, существующих на границе долгоживущих и, очевидно, отличающихся по составу от остальной мантии гигантских образований на границе мантия — ядро.

Отсутствие пространственно-временных корреляций между североамериканскими базальтовыми излияниями, кимберлитами и карбонатитами, как и отсутствие континентальных платобазальтов, сравнимых по объему с масштабными событиями, происходившими в других регионах, указывает на то, что литосфера Северной Америки в фанерозое не подвергалась воздействию гигантских мантийных плюмов. Вероятно, это связано с тем, что в продолжение фанерозоя Северная Америка не располагалась над зонами генерации плюмов на границе мантия — ядро. Несмотря на это, в Северной Америке открыто около полутора тысяч кимберлитов и более ста карбонатитов. Многие кимберлиты являются алмазоносными, а их состав по всем основным признакам не отличается от кимберлитов других провинций. Можно предположить, что литосфера Северной Америки подвергалась воздействию плюмов меньшего масштаба. К таким малым плюмам можно отнести, например, мантийное возмущение, вызвавшее излияние базальтов р. Колумбия, объем которых (175000 км³) составляет менее 10% объема крупных океанических и континентальных платобазальтов. Предположительно, малые плюмы не приводят к образованию обширной “головы”, которая, воздействуя на участки литосферы разного строения, генерирует почти синхронные магматиты различных типов.

Таким образом, пространственно-временные корреляции между траппами, карбонатитами и кимберлитами повсеместно проявляются в Евразии и Африке, но отсутствуют в Северной Америке. Наиболее вероятно, внутриплитовый магматизм всех трех типов вызывается плюмовой активностью, но масштабы этой активности различаются в мантии Евразии и Африки, с одной стороны, и Северной Америки — с другой.

1. Белов С. В., Лапин А. В., Толстов А. В., Фролов А. А. Минерагения платформенного магматизма (траппы, карбонатиты, кимберлиты). – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние РАН, 2008. – 537 с.
2. Ernst R. E., Bell K. Large igneous provinces (LIPs) and carbonatites // *Miner. Petrol.* – 2010. – **98**. – P. 55–76.
3. Torsvik T. H., Burke K., Steinberger B. et al. Diamonds sampled by plumes from the core-mantle boundary // *Nature*. – 2010. – **466**. – P. 352–357.
4. Woolley A. R., Kjarsgaard B. A. Carbonatite occurrences of the world: map and database // *Geol. Surv. of Canada*. – Open File 5796. – 2008. – 28 p. – http://geopub.nrcan.gc.ca/moreinfo_e.php?id=225115&_h=carbonatite.
5. Faure S. World Kimberlites CONSOREM Database (Version 3) / Consortium de Recherche en Exploration Minerale CONSOREM, Univ. du Quebec e Montreal. – 2010. – www.consorem.ca.
6. White R., McKenzie D. Mantle plumes and flood basalts // *J. Geophys. Res.* – 1995. – **100**. – P. 17543–17585.
7. Turner S., Hawkesworth C., Gallagher K. et al. Mantle plumes, flood basalts, and thermal models for melt generation beneath continents: Assessment of a conductive heating model and application to the Parana // *Ibid.* – 1996. – **101**. – P. 11503–11518.
8. Burke K., Steinberger B., Torsvik T., Smethurst M. Plume generation zones at the margins of large low shear velocity provinces on the core-mantle boundary // *Earth Planet. Sci. Lett.* – 2008. – **265**. – P. 49–60.
9. Kogarko L. N., Lahaye Y., Brey G. P. Plume-related mantle source of super-large rare metal deposits from the Lovozero and Khibina massifs on the Kola Peninsula, Eastern part of Baltic Shield: Sr, Nd and Hf isotope systematics // *Miner Petrol.* – 2010. – **98**. – P. 197–208.
10. Smith C. B., Gurney J. J., Skinner E. M. W. et al. Geochemical character of the southern African kimberlites: a new approach based on isotopic constraints // *Trans. Geol. Soc. South Africa*. – 1985. – **88**. – P. 267–280.
11. Костровицкий С. И., Морикио Т., Серов И. В. и др. Изотопно-геохимическая систематика кимберлитов Сибирской платформы // *Геология и геофизика*. – 2007. – **48**, № 3. – С. 350–371.

12. Safonov O. G., Kamenetsky V. S., Perchuk L. L. Links between carbonatite and kimberlite melts in chloride-carbonate-silicate systems: experiments and application to natural assemblages // *J. Petrology*. – 2011. – **52**. – P. 1307–1331.
13. Weeraratne D. S., Forsyth D. W., Fischer K. M., Nyblade A. A. Evidence for an upper mantle plume beneath the Tanzanian craton from Rayleigh wave tomography // *J. Geophys. Res.* – 2003. – **108**(B9). – P. 2427–2443.
14. Гейко Ю. В., Гурский Д. С., Лыков Л. И., Металлиди В. С., Павлюк В. Н., Приходько В. Л., Цымбал С. Н., Шимкив Л. М. Перспективы коренной алмазоносности Украины. – Киев; Львов: Центр Европы. – 2006. – 223 с.

Институт геофизики им. С. И. Субботина
НАН Украины, Киев

Поступило в редакцию 03.08.2011

О. В. Арясова, Я. М. Хазан

Взаємозв'язок між трапами, карбонатитами й кімберлітами та його можливі причини

Спираючись на найбільш повні сучасні бази даних платобазальтів, карбонатитів і кімберлітів, продемонстровано існування просторово-часових кореляцій між цими трьома типами внутрішньоплитового магматизму. Вказані кореляції повсюдно проявляються у Євразії та Африці, але відсутні в Північній Америці. Ймовірною причиною кореляцій є взаємодія з літосферою “голови” гігантського мантійного плюму, яка майже одночасно викликає магматизм на території розміром порядку перших тисяч кілометрів, об'єм і склад останнього залежить від тектонічної будови і теплового стану літосфери. Відмінність Євразії і Африки, з одного боку, та Північної Америки — з іншого, здогадно пов'язана з тим, що за останні 350 млн років Північна Америка не розташовувалась над африканською або тихоокеанською зонами генерації плюмів.

O. V. Aryasova, Ya. M. Khazan

A correlation between trapps, carbonatites, and kimberlites and its possible reasons

Based upon the most complete modern plateau basalt, carbonatite, and kimberlite databases, we show the existence of space-time correlations between the three types of magmatism. The correlations are evident everywhere in Eurasia and Africa, but they are absent in North America. A probable cause of the correlations is the impact of a giant plume “head” on the lithosphere, which generates the almost simultaneous magmatism over a territory with the size of a few thousand kilometers across with the magma volume and the composition depending on the lithosphere tectonic structure and the thermal state. A distinction of North America from Eurasia and Africa may be due to that North America has not been situated above the African and Pacific zones of plume generation throughout the last 350 Myr.