

**КРУПНЫЕ ИЗВЕРЖЕННЫЕ ПРОВИНЦИИ (LIPs) И ИХ ОТРАЖЕНИЕ
В ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ ВОРОНЕЖСКОГО
КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА****А. Ю. Альбеков, М. В. Рыборак***Воронежский государственный университет**Поступила в редакцию 1 марта 2012 г.*

Аннотация. К крупным изверженным провинциям (*Large Igneous Provinces – LIPs*) относятся континентальные платобазальты, вулканические и интрузивные образования пассивных окраин, океанические плато и другие проявления внутриплитного магматизма, которые сформированы в результате внедрения огромных объемов мантийных магм (> 1 млн км³) за относительно короткое время. LIPs широко представлены в геологической истории Земли от реликтов архейских и палеопротерозойских высокомагнезиальных вулканитов до кайнозойских внутриконтинентальных и океанических платобазальтов. Исследование подобных структур в настоящее время осуществляется по двум взаимодополняемым направлениям: а) установление временного распределения LIPs (частота встречаемости, суперплюмовые события, связь с изменением климата); б) выявление пространственного распределения LIPs (размеры, связь с плюмовым куполом, рифтогенезом и распадом суперконтинентов). Это позволяет использовать полученную информацию для разработки моделей их происхождения и взаимосвязи с глобальными тектоническими событиями эволюции Земли, а также прогнозом распределения полезных ископаемых. В настоящей работе приводится определение понятия «Крупные изверженные провинции» и дается краткий обзор существующих классификаций. Вероятные проявления фрагментов LIPs на территории Воронежского кристаллического массива позволяют предложить четыре эпохи их формирования: позднеархейскую, две палеопротерозойских (рифтогенную и плато-базальтовую) и среднепалеозойскую.

Ключевые слова: крупные изверженные провинции, карбонатиты, плюм, плато-базальты, эволюция, Воронежский кристаллический массив.

Abstract. *A Large Igneous Provinces (LIPs) are continental flood-basalts, volcanic and intrusive formation of passive margins, oceanic plateaus and other manifestations of intraplate magmatism that formed as a result of the introduction of large volumes of mantle magmas (> 1 million km³) in a relatively short time. A LIPs are well represented in the geologic history of relicts of the Archean and Paleo-proterozoic magnesian volcanic rocks to intracontinental and oceanic plateau basalts of Cenozoic. The study of such structures is currently being implemented in two complementary ways: a) establishing interim allocation (frequency of occurrence, mantle plume events, connection with climate change), b) identification of the spatial distribution (dimensions, connection with regional plume domal uplift, rifting and disintegration of supercontinents). This allows you to use this information to develop models of their origin and relationship to the global evolution of the Earth's tectonic events, as well as forecast the distribution of minerals. In this paper we present a definition of "Large igneous province", and gives a brief overview of the existing classifications. Possible manifestations of the fragments in the LIPs of the Voronezh crystalline massif allow us to offer four epochs of their formation: Late-Archean, two Paleo-Proterozoic (rift and flood basalt) and middle-Paleozoic.*

Key words: *large igneous provinces, carbonatites, plume, flood basalts, evolution, Voronezh crystalline massif*

В геологической истории Земли было установлено значительное количество краткосрочных магматических импульсов, в течение которых происходило излияние больших объемов мантийных

базитовых магм в условиях внутриплитных тектонических обстановок. Предполагается что, эти извержения осуществлялись без прямой связи со срединговыми или окраинно-континентальными тектоническими обстановками. Подобные проявления в настоящее время принято обозначать тер-

мином – крупные изверженные провинции (Large Igneous Provinces – LIPs). Установлено, что лучшей сохранностью характеризуются LIPs, сформировавшиеся в мезозое и кайнозое, где они описаны в виде проявлений континентальных плато-базальтов (траппов), вулканических рифтовых полей, океанических плато, плато-базальтов океанических бассейнов (глубоководных плато), подводных хребтов и подводных горных цепей.

Более древние, сформированные в палеозое и протерозое LIPs, как правило, глубоко эродированы. Они представлены реликтами нижнего и среднего уровня магматических систем, проявляющимися в виде гигантских роев даек, провинций силлов и расслоенных интрузий. В архее наиболее

перспективными кандидатами LIPs являются зеленокаменные пояса с проявлениями коматиитового магматизма.

Кроме того, отмечается закономерность взаимосвязи, как во времени, так и в пространстве, проявлений карбонатитов с крупными изверженными провинциями (например, ассоциации карбонатитов северо-западной Индии и плато-базальтов плато Декана, рис. 1). Частота подобных LIP-карбонатитовых ассоциаций позволяет предположить, что LIPs и карбонатиты могут быть рассмотрены как различные эволюционные пути одного и того же магматического процесса и являются различными частями одной магматической системы [1].

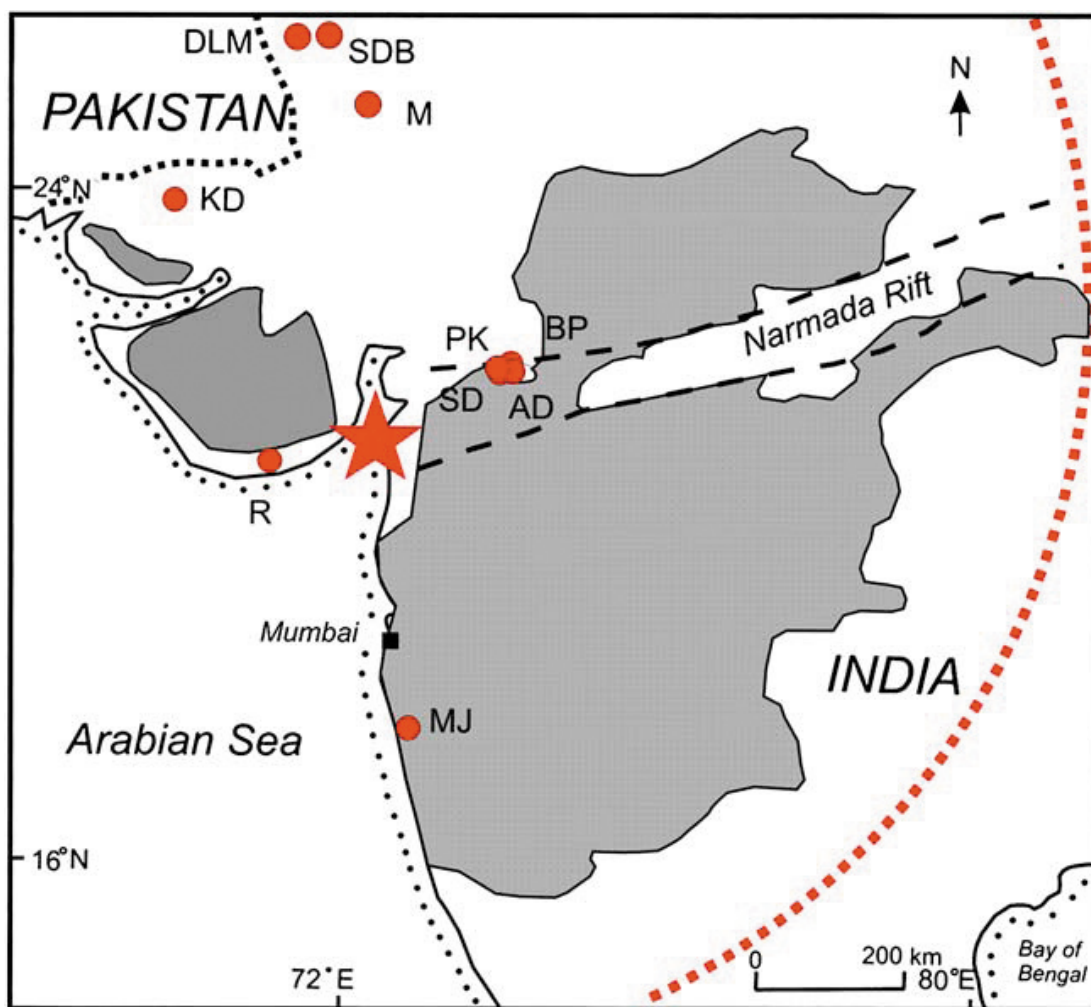


Рис. 1. Геологическая схема северо-западной и центральной Индии, показывающая связь платобазальтов Декана (серый оттенок), рифта Narmada и карбонатитовых комплексов (сплошные красные круги) [1 и ссылки в ней].

Примечание. Сокращения для карбонатитов: AD – Amba Dongar, BP – Bakhatgarh-Phulmahal, DLM – Danta-Langera-Mahabar, KD – Kala Doongar, M – Mundwara, MJ – Murud Janjira, PK – Panwad-Kawant, R – Rajula, SDB – Sarnu-Dandali (Barmer), SD – Siriwasan-Dughda. Звезда и круг поиска отмечают центр и 1000 км радиус мантийного плюма возрастом около 66 млн лет

Крупные изверженные провинции

Общие понятия

Интерес к изучению крупных изверженных провинций в настоящее время очень высок, так как установлено, что они являются индикаторами масштабных глобальных геологических событий в эволюции Земли и отражают эпохи активизации плюмовой деятельности, распада суперматериков, «массовых вымираний» и т.д., кроме того непосредственно с ними связаны крупные месторождения различных полезных ископаемых, например в Бушвельдском массиве, интрузиях Норильского района и других.

Для изучения крупных изверженных провинций и содействия глобальному международному междисциплинарному сотрудничеству по их исследованию под эгидой Международной ассоциации вулканологии и химии недр Земли (IAVCEI; <http://www.iavcei.org/>) в 1993 году была создана Комиссия по LIPs (<http://www.largeigneousprovinces.org/>). Главными задачами исследований в этом направлении, являются: а) установление временного распределения LIPs (частота, суперплюмовые события, связь с изменением климата); б) выявление пространственного распределения LIPs (размер, связь с плюмовым куполом, рифтогенезом и распадом суперконтинентов). Установлено, что индикаторами крупных изверженных провинций являются платиноносные ультрабазит-базитовые комплексы [2], что определяет практическую значимость исследований.

Для каталогизации всех обширных базитовых магматических проявлений и оценки возможной связи этих событий с мантийными плюмами была создана база данных с перечнем и краткой характеристикой всех известных LIPs Земли с которой можно ознакомиться на сайте <http://www.largeigneousprovinces.org/record>.

Что же входит в понятие «крупные изверженные провинции»? В настоящее время общепризнано, что LIP имеют большой объем магматического материала, короткую продолжительность формирования (или состоят из коротких магматических импульсов), относятся к внутриплитному типу магматизма, представленному преимущественно базальтовыми потоками и связанными с ними магмоподводящими системами [3–9].

В настоящее время общепризнанным считается следующее определение термина [8]: «Крупные изверженные провинции – это магматические провинции с площадью распространения более 0,1 млн км², объемом магматитов более 0,1 млн км³ и мак-

симальной общей продолжительностью формирования около 50 млн лет, которые имеют внутриплитные тектонические параметры или геохимическое сходство, и характеризуются магматическим импульсом (импульсами) малой длительности (около 1–5 млн лет), в течение которых была сформирована их большая часть (> 75 % от общего объема)».

С учетом длительной тектонической эволюции платформенных фрагментов Земли, предлагается выделение так называемых «фрагментов» LIP [10]: это магматические единицы меньшего размера или площади, первоначально принадлежащие к LIP-масштабному событию, но сокращенные в размерах в результате эрозии или их тектонической фрагментации. При этом «фрагменты» LIP должны иметь установленные важные граничные характеристики, которые доказывают, что они являлись частью глобального события. Например, обширный рой даек долеритов при средней ширине каждой дайки около 30 метров, вероятно, будет принадлежать к событию LIP-масштаба, даже если сохранившийся ареал их распространения не соответствует объему LIP.

Классификация LIPs

В рамках используемых общепризнанных классификаций LIPs подразделяют на континентальный и океанический типы [1, 3, 8], которые в свою очередь расчленяются на: А) Континентальные – а.1) континентальные плато-базальтовые провинции (например: Parana-Etendeka – Ю.Америка-Африка, Кагоо – Ю.Африка, Сибирские траппы и др.); а.2) вулканические рифтовые поля (например, Индия – Западная Австралия, Северная Атлантика и др.); а.3) гигантские поля (рои) континентальных даек, провинции силлов и мафит-ультрамафитовые расслоенные интрузии (например, Bushveld – Ю. Африка, Mackenzie и Stillwater – С. Америка, Warakurna – Австралия и др.); а.4) зеленокаменные пояса, обширные толеит-комагмитовые + риолиты вулканические ассоциации и комагматичные им силлы (например, Barberton – Ю. Африка, кратоны Superior и Slave – С. Америка, Yilgarn – З.Австралия и др.); а.5) высокообъемные кислые (высококремнистые) провинции (например, Whitsandey – Австралия, Chron Aike – Ю.Америка-Антарктида, Malani Sierra Madre Occidental – Мексика и др.); Б) Океанические – б.1) океанических плато (например, Ontong Java-Manihiki-Hikurangi – Тихий океан и Kergelen – Индийский океан); б.2) плато-базальты океанических бассейнов (например, Nauru Basin, East Mariana и Pigafetta – Тихий океан). Как

вариант предлагается [8] в начале разделять все LIPs на мафические и кремнеземистые, с последующим аналогичным расчленением на континентальные и океанические.

Кроме этого, в научном сообществе признана классификация Шеца [11], в основу которой положено разделение LIPs на экструзивные (Large volcanic provinces – LVPs) и интрузивные (Large plutonic provinces – LPPs). Экструзивные в свою очередь, расчленяются на: а) крупные риолитовые провинции (LRPs), б) крупные андезитовые провинции (LAPs), в) крупные базальтовые провинции (LBP) и г) крупные базальт-риолитовые провинции (LBRPs). А в границах интрузивных LPPs выделяют а) крупные гранитоидные провинции (LGPs) и б) интрузивные континентальные и океанические мафитовые плутоны. Однако данная классификация подвергается значительной критике, так как в ней не соблюдается одно из главных условий принадлежности LIPs к внутриплитному тектоническому режиму.

Гипотезы происхождения LIPs

Происхождение крупных изверженных провинций до настоящего времени остается предметом дискуссий [5, 7, 12–16]. Предполагаемые варианты включают: мантийные плюмы (наиболее активно развиваемое направление), декомпрессионное мантийное плавление рифтогенной природы, импактный генезис, а также как результат деламинации субконтинентальной литосферы и замещение ее горячей астеносферой. Другие механизмы, такие как рифтогенез задугового бассейна или образование субдукционных подводных хребтов, объясняются аномальным магматизмом малого объема, но не проявлениями LIP-масштаба [1].

В настоящее время все большее количество ученых склоняется к плюмовой модели формирования крупных изверженных провинций. Наиболее ярким свидетельством участия мантийных плюмов являются наблюдаемые региональные сводовые поднятия, обусловленные поступлением всплывающего разогретого мантийного вещества под литосферу [17–22]. Наличие обширных роев радиальных мафических даек, связанных с магматическими центрами (очагами) в модели большого радиального стресса, как правило, также считается важным диагностическим признаком подъема части литосферы, который может быть связан с мантийным плюмом [23, 24].

Ассоциирующие карбонатиты

В отличие от магматических формаций LIP, карбонатиты характеризуются незначительным

объемом магматического материала. Они встречаются на всех континентах и имеют возраст от трех миллиардов лет до настоящего времени [25], состоят не менее чем из 50 % карбонатных минералов, и часто ассоциируют с щелочными силикатными породами.

Ранее карбонатиты считались крайне редкими, но на сегодняшний день зарегистрировано 527 их проявлений [26, 27]. Хотя карбонатиты описаны на всех континентах, включая Антарктиду, почти треть их находится в Восточно-Африканской рифтовой системе. Около 50 % всех карбонатитов связаны с обстановками растяжения, такими как системы рифтовых долин, а остальные ассоциируют с крупными разломами и крупномасштабными куполовидными поднятиями. Карбонатитов в субдукционных обстановках в настоящее время не обнаружено и по этой причине при построении моделей их происхождения, вводится ограничение на формирование только в континентальных областях с утолщенной литосферой, что играет важную роль в производстве обогащенных CO₂ расплавов [1].

Установлено [25, 27], что насыщенные углекислотой расплавы формируются при малых степенях плавления мантийного вещества, и кроме того, являясь ионной жидкостью, мало или вообще не полимеризуются и, следовательно, имеют крайне низкую вязкость [28]. По этой причине предполагается, что карбонатитовые расплавы формируются при частичном плавлении больших объемов мантии [29] и быстро мигрируют к поверхности со скоростью от 20 до 65 мс⁻¹ [30], избегая большой контаминации вмещающими породами.

Несмотря на различные предложенные варианты происхождения богатых карбонатом магм [31], появляется все больше доказательств, что многие карбонатиты прямо или косвенно связаны с подъемом глубинного мантийного вещества в плюмах и горячих точках [31–34 и др.].

Вероятные проявления LIPs в геологической эволюции ВКМ

Общее строение ВКМ

Воронежский кристаллический массив (ВКМ) представляет собой крупный выступ в современном рельефе докембрийского фундамента в центральной и юго-западной частях приближающийся к поверхности и обнажающийся в долине р. Дон южнее г. Павловск. ВКМ объединяет сегменты крупнейших докембрийских структур Восточно-Европейского кратона: северо-восточную часть

Сарматии (Воронежско-Украинский геоблок [35]) и вероятно юго-западную часть Волго-Уралии (Хоперский мегаблок Воронежского кристаллического массива). В глобальном тектоническом плане

ВКМ подразделяется на три основных структуры-мегаблока (с запада на восток): Курский, Лосевский (шовная зона) и Хоперский (рис. 2).



Рис. 2. Схема структурно-формационного районирования Воронежского кристаллического массива (по [35–37], с изменениями и дополнениями).

Примечание: I – мегаблок КМА, в том числе макроблоки: I-1 – Брянский, I-2 – Ливенско-Ефремовский, I-3 – Севский, I-4 – Сумской, I-5 – Орловско-Белгородский (Оскольский), I-6 – Россошанский; цифры в кружках – палеопротерозойские рифтогенные структуры: 1 – Михайловская, 2 – Орловская, 3 – Тим-Ястребовская, 4 – Рыльская, 5 – Крупецкая, 6 – Белгородская, 7 – Волотовская, 8 – Борисовская; II – Лосевская шовная зона: II-1 – Лосевская и II-2 – Донская подзоны; III – Хоперский мегаблок, в том числе макроблоки: III-1 – Калачско-Эртильский, III-2 – Тамбовский, III-3 – Варваринский, III-4 – Камышинский. IV–V – продолжение структур ВКМ на УЩ, геоблоки (террейны): IV-1 – Белоцерковско-Одесский (Брагинский), IV-3 – Кировоградский (Ингулецкий), IV-4 – Среднеприднепровский, IV-5 – Приазовский, V-2 – Восточно-Приазовский. УЩ – Украинский щит, ОВ – Оршанская впадина, ПМ – Подмосковный авлакоген, ПЧ – Пачелмский прогиб, ПВ – Прикаспийская впадина

Основные модели эволюции литосферы ВКМ

В настоящее время известно несколько геодинамических моделей эволюции литосферы Воронежского кристаллического массива. Наиболее ранняя с позиций плитной тектоники модель была предложена в 1997 году [38] и затем получила развитие в последующих работах [39, 40]. В 2000 году В.А. Бушем с соавторами [41] была предло-

жена альтернативная модель, так же с позиции плитного тектогенеза. В рамках другой геодинамической модели эволюции Восточно-Европейской платформы [42] воронцовский и ладожский седиментационные комплексы формировались в условиях единой пассивной континентальной окраины юго-западного склона Восточно-Русского кратона. Позднее была предложена модель [43], рассматри-

вающая Лосевскую шовную зону в качестве форленда Восточно-Сарматского орогена, послужившего источником терригенного материала при формировании воронцовской серии. Каждая из перечисленных моделей обладает спорными позициями, однако степень изученности Воронежского кристаллического массива не позволяет, на данный момент, составить единую, внутренне непротиворечивую модель его докембрийского развития.

В предлагаемой модели эволюции ВКМ в раннем докембрии выделяются следующие этапы формирования литосферы этого региона:

- 1) раннеархейский – формирование блоков высокометаморфизованного метабазит-гранулит-гранито-гнейсового основания Курской гранит-зеленокаменной области;
- 2) позднеархейский, в котором сопровождавшийся развитием зеленокаменных ассоциаций условия растяжения сменились коллизионной обстановкой, маркируемой ареальной гранитизацией и мигматизацией, и появлением значительных масс субщелочных гранитоидов;
- 3) палеопротерозойский, в рамках которого выделяются: а) этап раннего рифтогенеза – накоп-

ление значительных площадных (латеральных) железисто-кремнистых толщ и заложение рифтогенных структур; б) поздний рифтогенный, в рамках которого в палеопротерозойских рифтогенных структурах происходило формирование вулканигов, преимущественно пикрит-базальтового состава, и терригенных толщ; в) коллизионный этап, маркируемый гранитоидными комплексами; г) этап внутриплитного платформенного магматизма, ознаменовавшийся внедрением траппов, щелочных и субщелочных магматитов.

Проявления LIPs в эволюции литосферы ВКМ

Учитывая высокую степень эрозионного среза, в также достаточно мощный чехол осадочных пород, восстановить вероятные ареалы распространения возможных крупных изверженных провинций на территории современного Воронежского кристаллического массива крайне затруднительно. Однако, на основе имеющейся геологической информации по распределению и вещественному составу известных вулканигов и интрузивных образований, а также корреляции с типовыми докембрийскими кратонами (рис. 3), авторы предлагают выделение четырех разновозрастных проявлений

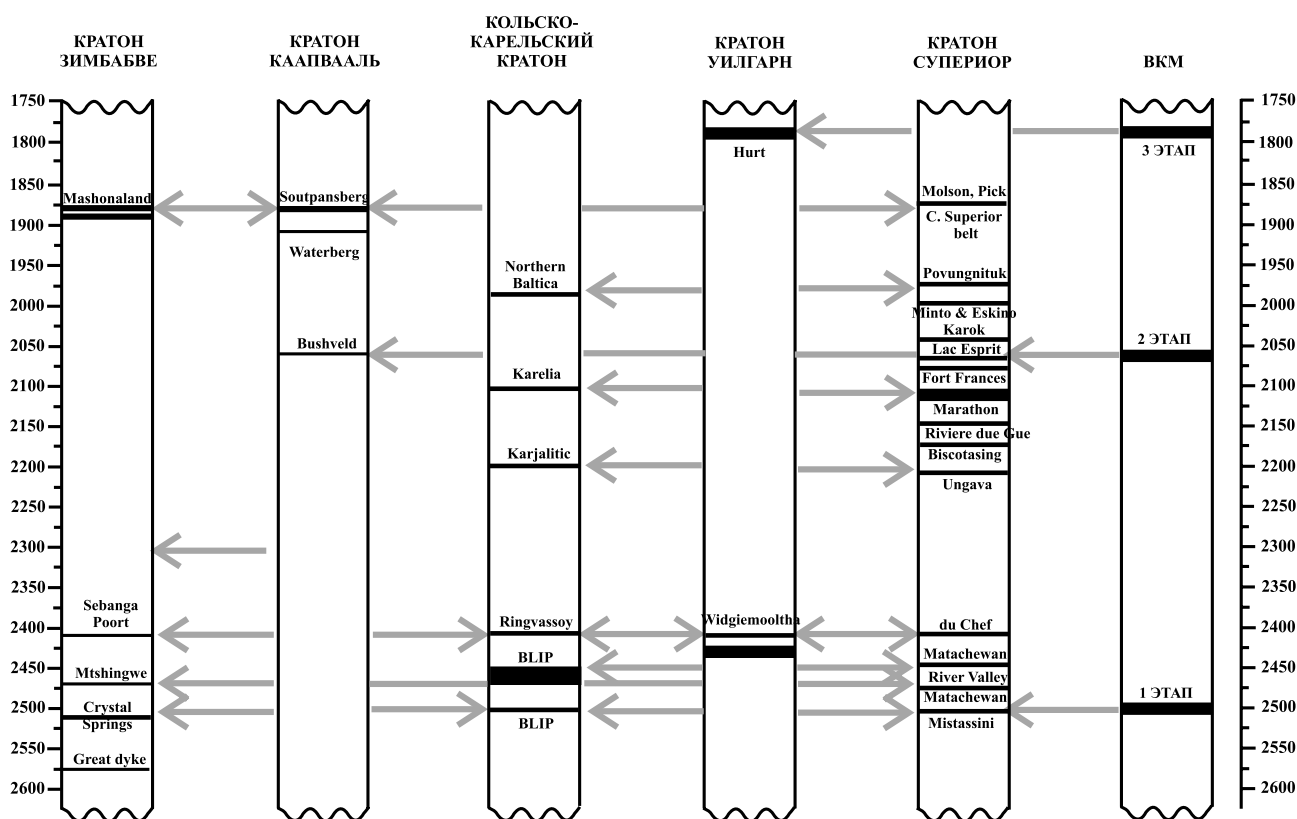


Рис. 3. Сопоставление проявлений докембрийских LIPs ВКМ и ряда типовых кратонов по [44] с дополнениями.

Примечание. Стрелками показаны возможные совпадения возраста мафического платформенного магматизма. BLIP – Балтийская крупная изверженная провинция

(эпох), вероятно относящиеся к крупным изверженным провинциям мантийно-плюмового происхождения.

1. Наиболее древними из предполагаемых проявлений являются образования позднеархейского высокомагнезиального коматиит-базальтового магматизма. Наиболее вероятным возрастом формирования этой ассоциации, по имеющимся TIMS U-Pb (изохроны по цирконам [45]) и Sm-Nd (эрохрона, вал по породам; неопубликованные авторские данные) определениям, является интервал 2,6–2,5 млрд лет. Предполагается, что исходные расплавы Al-деплементированных коматиитов и высокомагнезиальных базальтов [46] сформировались в результате декомпрессионного плавления астеносферного мантийного вещества и его контаминации мафическим нижнекоровым веществом.

2. Палеопротерозойские рифтогенные породные ассоциации (с возрастом около 2066 млн лет – U-Pb изохрона), ассоциирующие с активным воздействием мантийного плюма, выраженного в формировании рифтогенных структур на более жестком блоке КМА (Белгородско-Михайловской и Воронежско-Алексеевской) и рассеянных линейных зон разломов на территории Хоперского мегаблока, отличающегося отсутствием «подстилающих» архейских образований. В это время происходит формирование широкого комплекса ультрамафит-мафитовых магматических образований, вещественный состав которых зависит от региональных особенностей литосферы: золотухинского перидотит-габброноритового комплекса на КМА, ольховского комплекса (габбронорит-кварцмонцитонитовая ассоциация) в Лосевском блоке (Ольховско-Шукавская структура) [47] и ультрамафит-мафитовых породных ассоциаций мамонского и еланского комплексов на площади Хоперского блока [48].

3. Палеопротерозойские платформенные проявления плато-базальтов (с возрастом от 1805 + 14 млн лет [49] до около 1790 млн лет – U-Pb изохрона), сохранившиеся в виде широко проявленных в современной северной части ВКМ силлов троктолит-габбродолеритов смородинского и новогольского комплексов [50].

Предварительно считаются комагматами габбродолеритов малоизученные современными изотопными методами базальтоиды, сохранившиеся в глазуновской депрессии [51]. Однако существует вероятность их принадлежности к более ранней рифтогенной эпохе [52].

Из-за отсутствия в настоящее время изотопно-геохронологической информации о выявленных на территории Курского мегаблока (в районе северного замыкания Волотовской рифтогенной структуры) щелочно-ультрамафитовых с карбонатитами образований [53], возраст их формирования неизвестен и по этой причине предварительно допускается их принадлежность, как к второй группе проявлений, так и третьей.

4. Среднепалеозойские (девонские) проявления щелочно-базальтоидной и плато-базальтовой вулканогенных формаций установлены в восточной части ВКМ в зоне контроля Мигулинско-Новохоперского глубинного разлома [54]. Возраст их формирования определен исключительно по стратиграфическим данным. Однако девонская магматическая активизация этой области и породные ассоциации вулканитов предполагают, что они могли являться частью глобальных магматических процессов Восточно-Европейского кратона в конце среднего палеозоя (390–365 млн лет назад) связанных с событием объединения Балтии и Лаврентии, которые в итоге образовали континент Лавразию около 400 млн лет назад [55].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ernst R. E.* Large igneous provinces (LIPs) and carbonatites / R.E. Ernst, K. Bell // *Miner Petrol.* – 2010. – V. 98. – № 1. – P. 55–76.
2. *Поляков Г. В.* Платиноносные ультрамафит-мафитовые формации подвижных поясов Центральной и Юго-Восточной Азии / Г. В. Поляков, А. Э. Изох, А. П. Кривенко // *Геология и геофизика.* – 2006. – Т. 47, № 12. – С. 1227–1241.
3. *Coffin M. F.* Large igneous provinces: crustal structure, dimensions, and external consequences / M. F. Coffin, O. Eldholm // *Rev. Geophys.* – 1994. – V.32. – P. 1–36.
4. *Coffin M. F.* Large igneous provinces: progenitors of some ophiolites? / M. F. Coffin, O. Eldholm // *Mantle Large igneous provinces (LIPs) and carbonatites 73 plumes: their classification through time.* Geological Society of America Special Paper. – 2001. – P. 59–70.
5. *Coffin M. F.* Large igneous provinces / M. F. Coffin, O. Eldholm // *Encyclopedia of Geology.* – Elsevier : Oxford, 2005. – P. 315–323.
6. *Courtillot V. E.* On the ages of flood basalt events / V. E. Courtillot, P. R. Renne // *Comptes Rendus Geoscience.* – 2003. – V. 335. – P. 113–140.
7. *Ernst R. E.* Frontiers in Large Igneous Province research / R. E. Ernst, K. L. Buchan, I. H. Campbell // *Lithos.* – 2005. – V. 79. – P. 271–297.
8. *Bryan S. E.* Revised definition of Large Igneous Provinces (LIPs) / S. E. Bryan, R. E. Ernst // *Earth-Sci. Rev.* – 2008. – V. 86. – P. 175–202.

9. Шарков Е. В. Строение магматических систем крупных изверженных провинций континентов по геолого-петрологическим данным / Е. В. Шарков // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Серия: Геология. – 2004. – № 2. – С. 7–22.
10. Ernst R. E. Mafic-ultramafic large igneous provinces (LIPs): Importance of the pre-Mesozoic record / R.E. Ernst // *J. Episodes*. – 2007. – V. 30 (2). – P. 108–114.
11. Sheth H. C. «Large Igneous Provinces (LIPs)»: Definition, recommended terminology, and a hierarchical classification / H. C. Sheth // *Earth-Science Reviews*. – 2007. – V. 85. – P. 117–124.
12. Foulger G. R. The “plate” model for the genesis of melting anomalies / G. R. Foulger // *Plates, plumes, and planetary processes*. Geological Society of America Special Paper. – 2007. – P. 1–28.
13. Изох А. Э. Эволюция ультрабазит-базитового магматизма крупных изверженных провинций Азии / А. Э. Изох, Г. В. Поляков // Тезисы докладов XI Всероссийского петрографического совещания «Магматизм и метаморфизм в истории Земли». – Екатеринбург, 2010. – Т. I. – С. 281–282.
14. Борисенко А. С. Пермотриасовое оруденение Азии и его связь с проявлением плюмового магматизма / А.С. Борисенко [и др.] // Геология и геофизика. – 2006. – Т. 47, № 1. – С. 166–182.
15. Campbell I. H. Editorial: The great plume debate: testing the plume theory / I. H. Campbell, A. C. Kerr // *Chem. Geol.* – 2007. – V. 241. – P. 149–152.
16. Добрецов Н. Л. Мантийные плюмы и их роль в формировании анорогенных гранитоидов / Н. Л. Добрецов // Геология и геофизика. – 2003. – Т. 44, № 12. – С. 1243–1261.
17. Sleep N. H. Hotspots and mantle plumes: some phenomenology / N. H. Sleep // *J. Geophys. Res.* – 1990. – V. 95. – P. 6715–6736.
18. Davies G. F. Dynamic Earth: plates, plumes and mantle convection / G. F. Davies. – Cambridge : University Press, U.K., 1999. – 458 p.
19. Rainbird R. H. The sedimentary record of mantle-plume uplift / R. H. Rainbird, R. E. Ernst // *Mantle plumes: their identification through time*. Geological Society of America Special Paper. – 2001. – P. 227–245.
20. Saunders A. D. Regional uplift associated with continental large igneous provinces: the roles of mantle plumes and the lithosphere / A. D. Saunders [et al.] // *Chem. Geol.* – 2007. – V. 241. – P. 282–318.
21. Грачев А. Ф. Мантийные плюмы / А. Ф. Грачев // Проблемы глобальной тектоники. – М., 2000. – С. 69–103.
22. Оровецкий Ю. П. Мантийный диапиризм / Ю. П. Оровецкий. – Киев, 1990. – 170 с.
23. May P. R. Pattern of Triassic-Jurassic diabase dykes around the North Atlantic in context of pre-drift position of the continents / P. R. May // *Geol. Soc. Am. Bull.* – 1971. – V. 82. – P. 1285–1292.
24. Ernst R. E. Giant radiating dyke swarms: their use in identifying pre-Mesozoic large igneous provinces and mantle plumes / R. E. Ernst, K. L. Buchan // *Large igneous provinces: continental, oceanic, and planetary volcanism*. Geophysical Monograph Series. – V. 100. American Geophysical Union. – 1997. – P. 297–333.
25. Фролов А. А. Карбонатитовые месторождения России / А. А. Фролов, А. В. Толстов, С. В. Белов. – М. : ННА-Природа, 2003. – 494 с.
26. Woolley A. R. Carbonatite occurrences of the world: map and database / A. R. Woolley, B. A. Kjarsgaard // Geological Survey of Canada. – 2008. – Open File 5796.
27. Карбонатиты и кимберлиты (взаимоотношения, минерогения, прогноз) / А. А. Фролов [и др.]. – М. : НИА-Природа, 2005. – 540 с.
28. Treiman A. H. Carbonatite magma: properties and processes / A. H. Treiman // *Carbonatites: Genesis and evolution* ed by K. Bell. – London : Unwin Hyman. – 1989. – P. 89–104.
29. McKenzie D. The extraction of magma from the crust and mantle / D. McKenzie // *Earth Planet. Sci. Lett.* – 1985. – P. 81–91.
30. Genge M. J. Molecular dynamics simulation of CaCO₃ melts to mantle pressures and temperatures: implications for carbonatite magmas / M. J. Genge, G. D. Price, A. P. Jones // *Earth Planet. Sci. Lett.* – 1995. – V. 131. – P. 225–238.
31. Carbonatites: genesis and evolution / ed. by K. Bell. – London : Unwin Hyman, 1989. – 618 p.
32. Simonetti A. Geochemical and Nd, Pb, and Sr isotope data from Deccan alkaline complexes-inferences for mantle sources and plumelithosphere interaction / A. Simonetti [et al.] // *Jour. Petrol.* – 1998. – V. 39. – P. 1847–1864.
33. Tolstikhin I. N. Rare gas isotopes and parent trace elements in ultrabasic-alkaline-carbonatite complexes. Kola Peninsula: identification of lower mantle plume component / I. N. Tolstikhin [et al.] // *Geochim. Cosmochim. Acta.* – 2002. – V. 66. – P. 881–901.
34. Kogarko L. N. Enriched mantle reservoirs are the source of alkaline magmatism / L. N. Kogarko // *Proceedings of VI International Workshop «Alkaline Magmatism, its sources and plumes»*. – Irkutsk and Napoli, 2006. – P. 46–58.
35. Геология и полезные ископаемые России / [под ред. Б. В. Петрова, В. П. Кирикова]. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2006. – Т. 1. Запад России и Урал. – Кн. 1. Запад России. – 528 с.
36. Чернышов Н. М. Структурно-тектоническое районирование ВКМ (по геологическим и геофизическим данным) / Н. М. Чернышов [и др.] // *Материалы юбилейной научной сессии геолог. ф-та ВГУ «Современные проблемы геологии»*. – Воронеж, 1998. – С. 5–7.
37. Розен О. М. Геодинамика ранней земли: эволюция и устойчивость геологических процессов (офиолиты, островные дуги, кратоны, осадочные бассейны) / О. М. Розен, А. А. Щипанский, О. М. Туркина. – М. : Научный мир, 2008. – 184 с.
38. Чернышов Н. М. Модель геодинамического развития Воронежского кристаллического массива в

- раннем докембрии / Н. М. Чернышов [и др.] // Геотектоника. – 1997. – № 3. – С. 21–30.
39. *Ненахов В. М.* Минерагенические исследования территорий с двухъярусным строением (на примере Воронежского кристаллического массива) / В. М. Ненахов [и др.]. – М. : Геокарт Геос, 2007. – 284 с.
40. *Чернышов Н. М.* Главнейшие типы геодинамических и минерагенических рядов в общей модели формирования докембрийской литосферы (на примере ВКМ) / Н. М. Чернышов, В. М. Ненахов // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Серия: Геология. – 2010. – № 2. – С. 47–58.
41. *Буш В. А.* Геодинамическая модель формирования позднеархейских – раннепротерозойских структур Воронежского массива / В. А. Буш, Ю. Н. Ермаков, Л. Н. Уйманова // Геотектоника. – 2000. – № 4. – С. 14–24.
42. *Божко Н. А.* Геодинамическая модель формирования фундамента Восточно-Европейской платформы / Н. А. Божко, А. В. Постников, А. А. Щипанский // Доклады РАН. – 2002. – Т. 386, № 5. – С. 651–655.
43. *Щипанский А. А.* Геодинамика восточной окраины Сарматии в палеопротерозое / А. А. Щипанский [и др.] // Геотектоника. – 2007. – Т. 1. – С. 43–70.
44. *Söderlund U.* Regional-scale 2.6-1.9 Ga Large Igneous Provinces of Zimbabwe / Ulf Söderlund [et al.] // December 2009 LIP of the Month. Source. – URL: <http://www.largeigneousprovinces.org/09dec> (дата обращения: 04.02.2012).
45. *Артеменко Г. В.* Геохронология Среднеприднепровской, Приазовской и Курской гранит-зеленокаменных областей : автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук / Г. В. Артеменко. – Киев, 1998. – 31 с.
46. *Рыборак М. В.* Неоархейская вулканогенно-осадочная ассоциация Михайловской структуры Курской гранит-зеленокаменной области: реконструкция условий формирования по петрохимическим данным / М. В. Рыборак, А. Ю. Альбеков // Материалы Всероссийского совещания с международным участием «Диагностика вулканогенных продуктов в осадочных толщах. – Сыктывкар : Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, 2012.
47. *Рыборак М. В.* Геология, петрология и минерагеническая специализация Ольховского кольцевого габбронорит-кварцмонзонит-гранитного плутона (Воронежский кристаллический массив) : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук / М. В. Рыборак. – Воронеж, 1999. – 22 с.
48. *Чернышов Н. М.* Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2004. – 448 с.
49. *Чернышов Н. М.* Новые данные о возрасте габбро-долеритовых интрузивов трапповой формации Хоперского мегаблока ВКМ (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов [и др.] // Доклады РАН. – 2001. – Т. 380, № 5. – С. 661–663.
50. *Альбеков А. Ю.* Геология, петрология и минерагеническая оценка перспектив рудоносности габбродолеритовых массивов трапповой формации Воронежского кристаллического массива : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук / А. Ю. Альбеков. – Воронеж, 2002. – 24 с.
51. *Чернышов Н. М.* Траппы Курской магнитной аномалии / Н. М. Чернышов, В. С. Чесноков. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 1983. – 276 с.
52. *Холин В. М.* О соотношении базальтового и андезитового вулканизма глазуновской свиты КМА / В. М. Холин, Ю. Н. Стрик // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Серия: Геология. – 2000. – Вып. 5 (10). – С. 115–120.
53. *Бочаров В. Л.* Апатитоносные карбонатиты КМА / В. Л. Бочаров, С. М. Фролов. – Воронеж, 1993. – 129 с.
54. *Быков И. Н.* Верхнедевонские базальты юго-восточной части Воронежской антеклизы / И. Н. Быков. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 1975. – 136 с.
55. *Носова А. А.* Петрология позднедокембрийского и палеозойского внутриплитного базитового вулканизма Восточно-Европейской платформы : автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук / А. А. Носова. – М. : ИГЕМ, 2007. – 48 с.

Воронежский государственный университет

А. Ю. Альбеков, доцент кафедры минералогии, петрографии и геохимии, кандидат геолого-минералогических наук

Тел. 8 (473) 220-79-66

sashaalb@list.ru

М. В. Рыборак, доцент кафедры минералогии, петрографии и геохимии, кандидат геолого-минералогических наук

Тел. 8 (473) 220-79-66

maximm.r@gmail.com

Voronezh State University

A. Yu. Al'bekov, associate professor, chair of Mineralogy, Petrography and Geochemistry, Candidate of the Geological and Mineralogical Sciences

Tel. 8 (473) 220-79-66

sashaalb@list.ru

M. V. Ryborak, associate professor, chair of Mineralogy, Petrography and Geochemistry, Candidate of the Geological and Mineralogical Sciences

Tel.: 8 (473) 220-79-66

maximm.r@gmail.com