

**ПЕТРОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГАББРОИДОВ
ЗОЛОТУХИНСКОГО КОМПЛЕКСА КУРСКОГО БЛОКА ВКМ КАК
ИНДИКАТОРЫ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ЕГО
ФОРМИРОВАНИЯ*****П. С. Бойко, А. Ю. Альбеков, М. В. Рыборак****Воронежский государственный университет**

Поступила в редакцию 5 сентября 2013 г.

Аннотация: среди палеопротерозойских интрузивных образований Курской гранит-зеленокаменной области Сарматского сегмента Восточно-Европейской платформы выделяется золотухинский перидотит-габброноритовый комплекс, положение которого в истории развития Воронежского кристаллического массива является дискуссионным. Интрузии габброидной ассоциации комплекса, составляющие вторую фазу внедрения, прорывают вулканогенно-осадочные образования, выполняющие палеопротерозойские синклиналильные структуры, а также локализируются вдоль их бортов. Возраст габброноритов (2066–2069 млн лет) близок к датировкам проявленных в палеопротерозое субдукционных и коллизионных процессов, а минералого-петрографические и изотопно-геохимические особенности указывают на возможность их формирования в субдукционных условиях. Авторами с учетом оригинальных Sm–Nd и Rb–Sr изотопных данных предложена петролого-геодинамическая модель, предполагающая иницирование формирования описываемых интрузий в условиях корово-мантийного взаимодействия в процессе рифтогенеза в тылу зоны субдукции.

Ключевые слова: докембрий, Восточно-Европейская платформа, рифтогенез, субдукция, габбронориты, Sm–Nd и Rb–Sr изотопия, Сарматия, Курский блок.

Abstract: paleoproterozoic intrusive formations of Kursk granite-greenstone region of Sarmatian segment of the East European platform involve zolotukhinsky peridotite gabbro-norite complex, whose position in the history of the Voronezh crystalline massif is debatable. Intrusions of gabbro association of the complex forming the second phase of implementation, are localized both inside volcanic-sedimentary formations of Paleoproterozoic synclinal structures and along their sides. Age of crystallization of gabbro-norites (2066–2069 Ma) is close to the dating of Paleoproterozoic subduction and collision processes, and mineralogical-petrographic and isotopic-geochemical features indicate the possibility of their formation in subduction environments. The authors, based on the original Sm–Nd and Rb–Sr isotopic data, have proposed petrological-geodynamic model, suggesting initiation of formation of the intrusions described in terms of the crust-mantle interaction in the process of rifting in the rear of the subduction zone.

Key words: Precambrian, East-European platform, rifting, subduction, gabbro, Sm–Nd and Rb–Sr isotopy, Sarmatia, Kursk unit.

Золотухинский комплекс Курского блока (КМА) в соответствии с современной схемой стратиграфии и магматизма докембрия территории Воронежского кристаллического массива (ВКМ) имеет двухфазное строение (первая фаза – дунит-перидотит-пироксенитовая, вторая – габброидная) [1–3]. Среди интрузий комплекса выделяются как самостоятельные ультрабазитовые тела, так и сложно построенные базит-ультрабазитовые образования.

Исследование указанных образований с использованием современных аналитических методов позволило выявить минералого-петрографические и петрогеохимические особенности, установить U–Pb изотопный возраст их формирования [4–8].

Однако до сих пор не определен петрогенезис данных породных ассоциаций, что не позволяет разработать непротиворечивую геодинамическую модель их формирования, а также место в общей модели эволюции ВКМ. В настоящей статье приводятся результаты проведенных исследований базитовой фазы петротипического Смородинского плутона, которые дают возможность частично восполнить этот пробел.

* Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания вузам в сфере научной деятельности на 2014–2016 гг. (проект № 853), а также грантов РФФИ №12-05-31297 мол_а и №13-05-97528 р_центр.

© Бойко П. С., Альбеков А. Ю., Рыборак М. В., 2014

Геологическое строение и возраст формирования

Петротипом золотухинского комплекса выступает многофазный базит-гипербазитовый Смородинский плутон (рис. 1). Это крупный (более 90 км²) массив неправильной формы, представляющий собой субвертикальное штокообразное тело ультрабазит-базитовых пород золотухинского комплекса, интродуцированное силлоподобным телом габбродолеритов смородинского комплекса [9].

Средне- и крупнозернистые мезократовые габбронориты, характеризующие базитовую ассоциацию комплекса, слагают главный шток плутона, прорывающий тело ультрабазитов первой фазы комплекса. В нижних (вскрытых бурением) горизонтах среди преобладающих безоливиновых разновидностей выявлены участки оливиновых габброноритов, сменяющиеся выше по разрезу отдельными прослоями лейкократовых крупнозернистых габброноритов (стратиформных анортозитов).

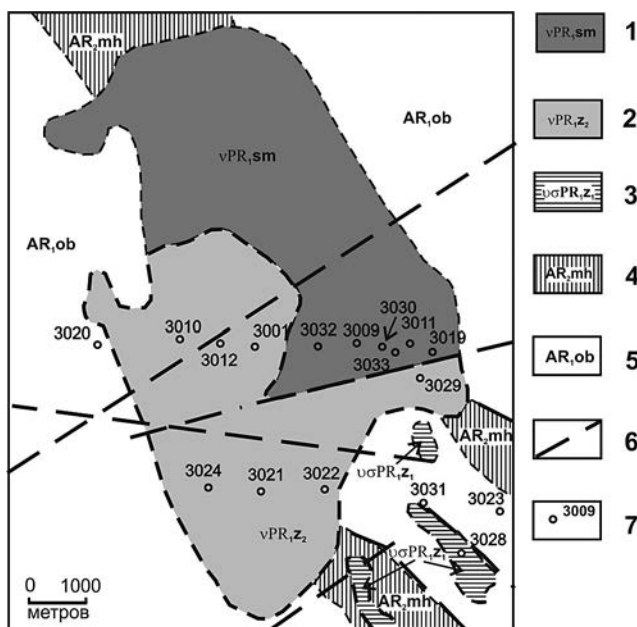


Рис. 1. Схематическая карта Смородинского и Золотухинского участков (по [9]): 1 – габбродолериты смородинского комплекса; 2 – габбронориты второй фазы золотухинского комплекса; 3 – гипербазиты первой фазы золотухинского комплекса; 4 – кристаллические сланцы и метабатызы михайловской серии; 5 – мигматизированные гнейсы обоянского плутона-метаморфического комплекса; 6 – тектонические нарушения; 7 – скважины

В центральной части штока породы второй фазы пересечены телами мелко- и среднезернистых директивных габброноритов с директивной текстурой, обладающих нечеткими контактами, сопровождающимися «запльвами» и включениями крупно- и среднезернистых габброноритов, что позволяет считать эти образования «интрамагматическими дайками». Кроме того, в пределах плутона установлены

типичные дайки мелкозернистых норитов и микрогаббро с четкими интрузивными секущими контактами, вероятно, характеризующие наиболее поздние стадии становления базитовой ассоциации.

Произведенное ранее [8] U–Pb изотопное датирование методом ID-TIMS по единичным зернам или микронавескам бадделеита с заверкой результатов датированием однородных зерен циркона показало возраст формирования габброноритов второй фазы золотухинского комплекса $-2066 \pm 2 - 2069 \pm 3$ млн лет.

Методика аналитических исследований

Определение химического состава изучаемых пород методом рентгено-флуоресцентного спектрального анализа (XRF) проводилось по стандартной методике в Институте геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ РАН, г. Москва, аналитик – канд. хим. наук А. И. Якушев) на спектрометре последовательного действия PW2400 производства компании Philips Analytical (Нидерланды). При калибровке спектрометра использованы отраслевые и государственные стандартные образцы химического состава горных пород. Анализ выполнен по методике HСAM 439-РС, обеспечивающей получение результатов III категории точности количественного анализа по ОСТ РФ 41-08-205-99.

Содержание и особенности распределения малых и редких элементов исследовались методом IСP MS (по технологии [10] в Аналитическом сертификационном испытательном центре Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов (ИПТМ РАН, г. Черноголовка, руководитель Аналитического центра – канд. хим. наук В. К. Карандашев).

Изотопно-геохимические исследования систем Sm/Nd и Rb–Sr в валовых пробах из габброидов (табл. 1) выполнены в Институте геологии и геохронологии докембрия (ИГГД РАН, Санкт-Петербург, аналитик – канд. геол.-минерал. наук В. М. Саватенков) по методике, детально описанной в работе [11].

Петрохимический облик габброидов комплекса характеризуется возрастанием (в мас. %) Al₂O₃ (до 22,34), TiO₂ (2,88), CaO (до 14,01), суммы щелочей (до 6) по мере увеличения SiO₂ и снижением содержания MgO (до 3,67), MnO (до 0,13), Fe₂O₃ (0,56) и FeO (6,20), при сравнительно выдержанных содержаниях суммы железа и P₂O₅ и относится к серии основных пикробазальтов и андезибазальтов второй фазы на классификационной диаграмме TAS [7].

На диаграмме АFМ (рис. 2, а) фигуративные точки размещаются как в пределах известково-щелочной серии (лейкогаббронориты и гранитизированные габбронориты), так и в поле толеитов (средне- и крупнозернистые габбронориты, мелко- и среднезернистые габбронориты даек). На диаграмме

Таблица 1

Изотопный состав Sm, Nd, Rb и Sr в валовых пробах из габброидов золотухинского комплекса (скважина № 3009)

№	Интервал, м	Возраст, млн лет	Sm	Nd	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	±2s	ε _{Nd} (0)	ε _{Nd} (T) ₂₀₆₆	T _{DM}	Rb	Sr	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	±2s	I (Sr)
1	526,9–546,0	2066	0,91	3,89	0,1408	0,51160	7	-20,3	-5,5	3233	2,97	372,65	0,0231	0,70556	4	0,70487
2	612,7–624,0	2066	1,42	6,02	0,1424	0,51165	12	-19,4	-5,0	3198	4,33	344,83	0,0363	0,70560	5	0,70452
3	386,0–400,0	2066	1,74	6,07	0,1727	0,51195	3	-13,4	-7,0	–	–	–	–	–	–	–

Примечание. 1 – габбронорит; 2 – анортозит; 3 – мелкозернистый директивный габбронорит.

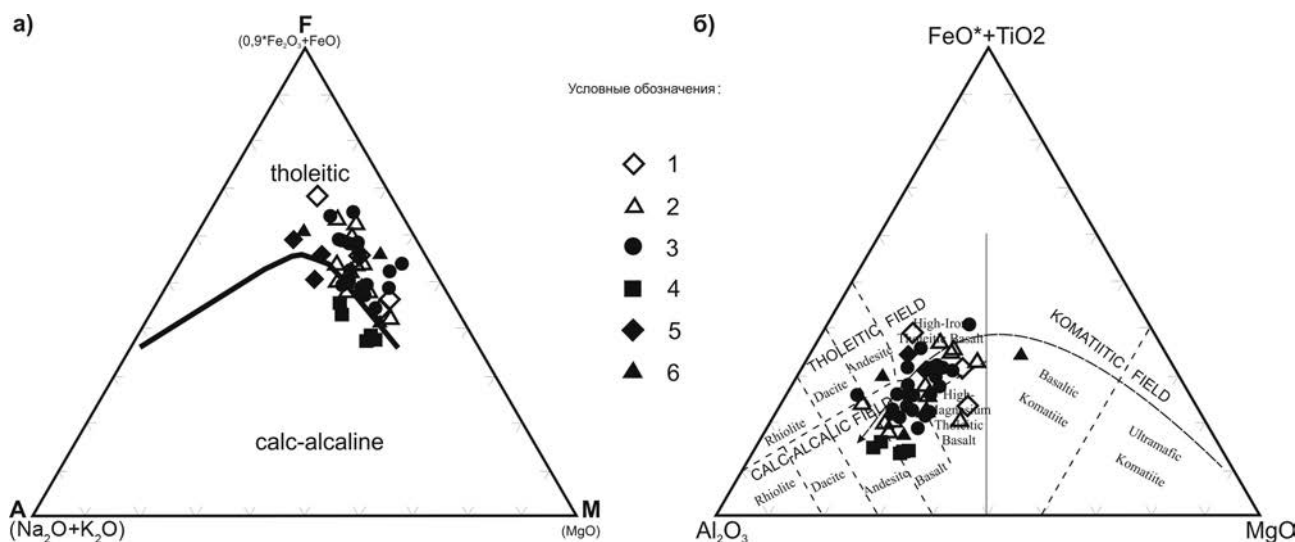


Рис. 2. Положение габброидов золотухинского комплекса на классификационных диаграммах AFM [(Na₂O+K₂O) – FeO – MgO] и Al – Fe + Ti – Mg (Йенсена) [12]. Граница толеитовой и известково-щелочной серий по Х. Куно [13]. Условные обозначения: 1 – оливиновые габбронориты; 2 – мезократовые габбронориты; 3 – амфиболизированные мезократовые габбронориты; 4 – анортозиты; 5 – гранитизированные габбронориты; 6 – дайки мелкозернистых габброноритов

Al – Fe + Ti – Mg [12] фигуративные точки составов изученных пород локализуются в областях высокомагнезиальных и высокожелезистых толеитовых базальтов (рис. 2, б), а также в поле известково-щелочных базальтов и андезитов.

Анализ спектров распределения редкоземельных элементов (нормализованных к примитивной мантии [14]) в породах золотухинского комплекса показывает явно выраженную тенденцию к накоплению их суммы (рис. 3) от ранних дифференциатов к поздним (габбронориты – 42,23–99,07 и анортозиты – 183,84) при общем их равномерном распределении с увеличением доли легких и средних лантаноидов по отношению к тяжелым в габброноритах. Эта же тенденция прослеживается для большинства крупноионных литофильных и высокозарядных элементов: содержание рубидия и калия резко возрастает, достигая максимума в наиболее лейкократовых разностях габброноритов (наиболее полно петрогеохимические характеристики пород описаны в работе [7], там же приведены исходные значения содержаний элементов и их петрологических отношений).

Значительное обогащение некогерентными высокозарядными и крупноионными литофильными элементами (K, Rb, Ba, легких РЗЭ), наряду с повышенными концентрациями MgO, Cr, Ni, а также относительной обедненностью Nb, Ta и тяжелыми РЗЭ, возможно, свидетельствует о некоторой доле коровой контаминации [7, 15]. Эти петрогеохимические признаки также отражаются в неравновесной ассоциации высокомагнезиального ортопироксена с кварцем и биотитом.

В настоящее время геодинамическая позиция базитов золотухинского комплекса, установленная на основе анализа их структурно-тектонического положения, морфологических и петрохимических особенностей, определяется как продукт континентального рифтогенеза [16–18 и др.]. Однако на большинстве диаграмм (диаграмма дискриминантных функций (D_x) – (D_y) [19], La–Y–Nb [20] и др.) либо полностью, либо значительной частью фигуративные точки занимают положение в поле известково-щелочной серии, что вносит некоторую неопределенность в диагностику их геодинамической природы и требует проведения дополнительных исследований по

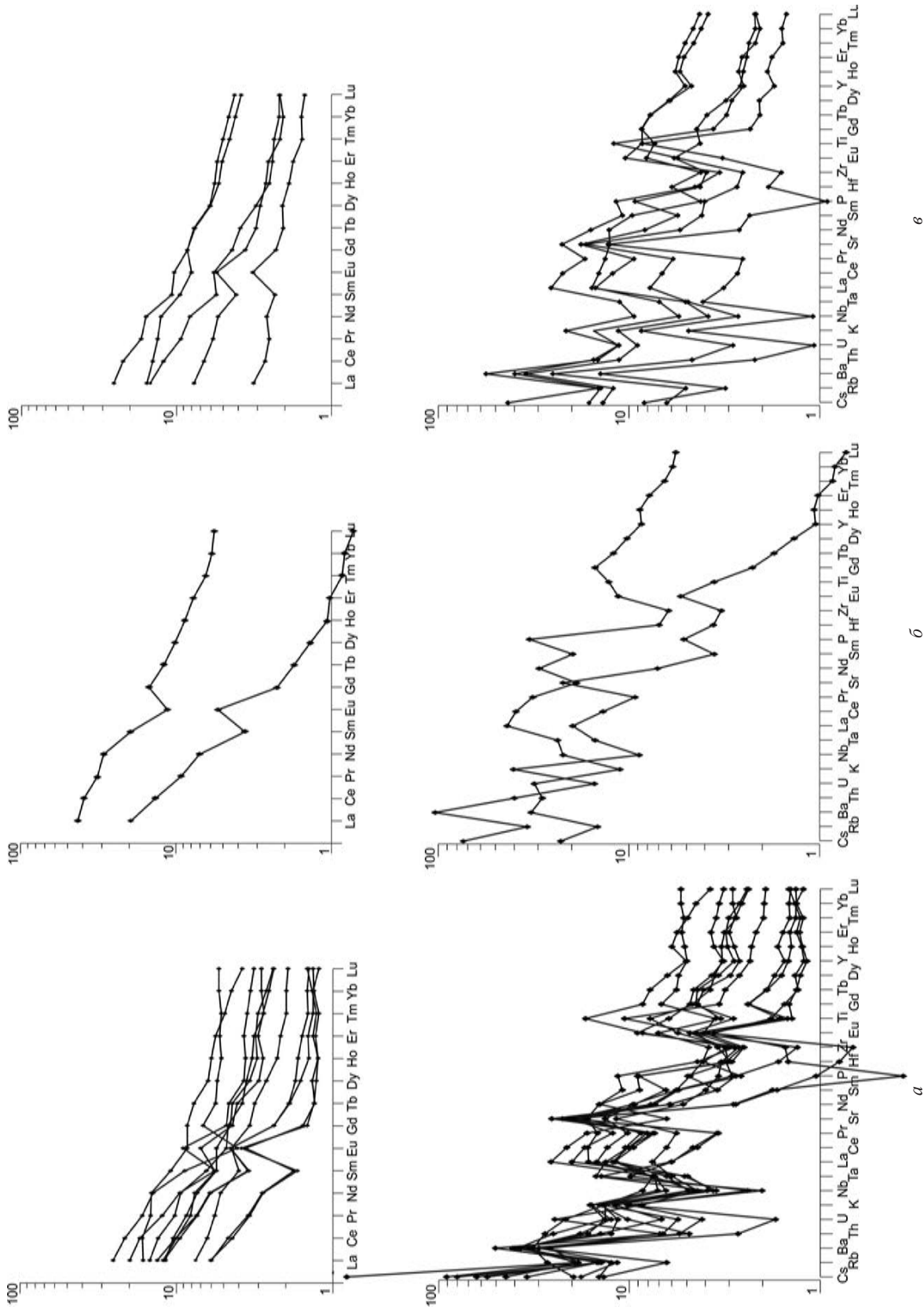


Рис. 3. Нормализованные по примитивной мантии (по [14]) мультиэлементные диаграммы и диаграммы распределения РЗЭ для пород золотухинского комплекса: *а* – мезо-меланократовых средне- и крупнозернистых габброаноритов; *б* – лейкократовых средне- и крупнозернистых габброаноритов (анортозитов); *в* – мелкозернистых габброаноритов интратраматических даек. Исходные значения содержания элементов и их петрологических отношений приведены в [7]

установлению мантийных источников габброноритов золотухинского комплекса.

В координатах диаграммы Ce/Nb – Th/Nb (рис. 4) большая часть составов лежит на линии смешения производных двух резервуаров: плюмового источника с участием рециклингового литосферного вещества – тугоплавкой составляющей погружившихся в

мантию слэбов (RSC) и надсубдукционного компонента (легкоподвижное вещество, мобилизуемое при дегидратации и плавлении слэба – SDC), растягиваясь между полями островных дуг и базитов Сибирских траппов, для которых доказан факт контаминации со значительным вкладом нижнекорового компонента [21].

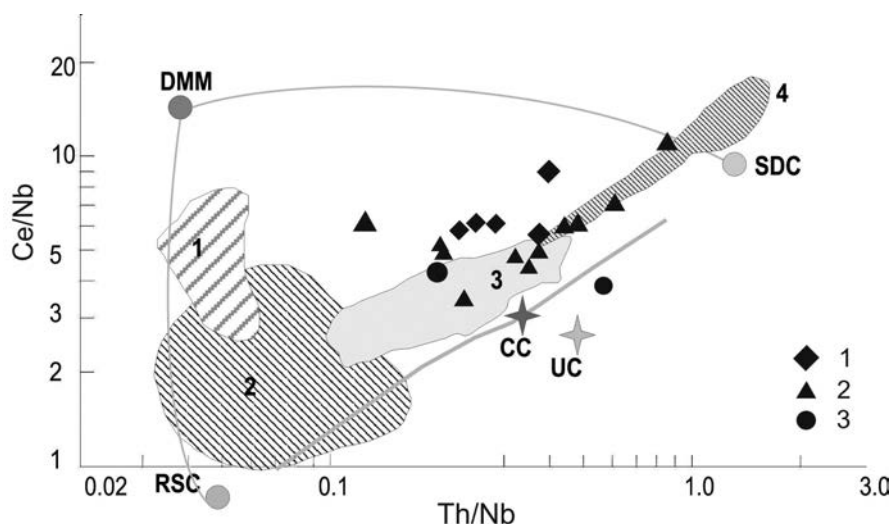


Рис. 4. Диаграмма Ce/Nb-Th/Nb [22] для габброидов второй фазы золотухинского комплекса КМА: составы геохимических резервуаров (DMM – деплетированная мантия, RSC – рестиловый компонент слэбов, SDC – мобильный компонент слэбов) по [23], CC (средний состав коры) и UC (верхняя кора) – по [24]; поля составов: 1 – MORB, 2 – производные Исландского плюма, 3 – Сибирские траппы по [25], 4 – породы Марианской дуги по [22]; условные обозначения: 1 – свежие средне- и крупнозернистые габбронориты; 2 – амфиболизированные средне- и крупнозернистые габбронориты; 3 – лейкоратовые крупнозернистые габбронориты

Исследования изотопных систем Sm, Nd, Rb и Sr (см. табл. 1) показывают, что полученная величина начального отношения для базитовых пород золотухинского комплекса (рассчитанная на возраст 2066 млн лет) $I(Sr)$ составляет от 0,7045 до 0,7049 при $\epsilon Sr_{(2066)}$ 34,0–39,83, что однозначно свидетельствует о первичном мантийном происхождении изученных базитов, а рассчитанные для того же возраста (2066 млн лет) значения ϵNd (от –4,96 до –7,05) указывают на наличие вклада материала континентальной коры в эволюцию первоначально мантийного расплава [22].

Сравнение изотопных отношений $^{87}Sr/^{86}Sr$ и $^{143}Nd/^{144}Nd$ показывает, что из возможных источников базитового расплава для габброидов золотухинского комплекса ближе всего подходит резервуар обогащенной мантии EM-I, происхождение которого связывается с субдукционными процессами и глубинной переработкой нижней континентальной коры, сложенной гранатовыми перидотитами и характеризующейся низкими значениями $^{87}Sr/^{86}Sr$ (0,702–0,705) и $^{143}Nd/^{144}Nd$ с отрицательным ϵNd (до –30) [23]. Действительно, характерные для габброноритов золотухинского комплекса обогащенные значения отношения $^{87}Sr/^{86}Sr_{(0)}$ (0,70555–0,7056) при больших отрицательных $\epsilon Nd_{(0)}$ от –19,35 до –20,33 обусловли-

вают промежуточное положение фигуративных точек на приведенной диаграмме $^{87}Sr/^{86}Sr_{(0)} - \epsilon Nd_{(0)}$ (рис. 5) между направлением мантийной последовательности и полем компонента нижней коры ($\epsilon Nd \approx -30$).

Суммируя весь объем геологических, геохимических и изотопных данных, авторы предполагают высокую вероятность корово-мантийного взаимодействия при формировании первичных магм исследуемых габброидов в период с 3,1–3,2 ($T_{DM(2066)}$) до 2,066 млрд лет, с участием источников вещества мантии и нижней коры, которая к тому же, возможно, представляет собой рециклинговый компонент гипотетического неархейского палеослэба, обеспечивающего ее субдукционные геохимические характеристики. Инициация непосредственно магматической деятельности обусловлена тектоническими и магматическими процессами в тылу орогенного сооружения восточной активной континентальной окраины (АКО) палеократона Сарматия, что может быть связано с воздействием слэба, погружающегося в расположенной восточнее зоне субдукции андского типа [28, 29] с погружением плиты на юго-запад (в современных координатах).

Предполагается, что формирующая палеопротерозойскую АКО (в настоящее время – тектоническая

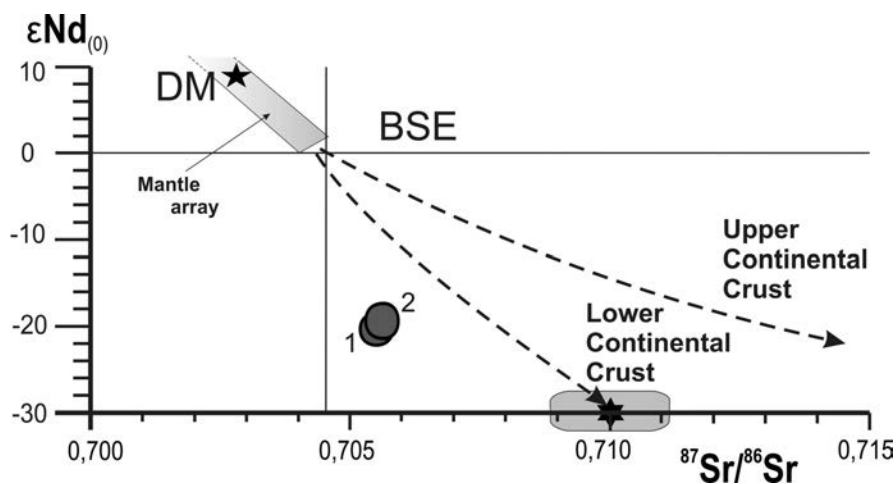


Рис. 5. Изотопная диаграмма $\epsilon Nd_{(0)} - {}^{87}Sr/{}^{86}Sr_{(0)}$ для габброноритов золотухинского комплекса (по [27])

структура Лосевской шовной зоны – ЛШЗ) зона субдукции близка по своим характеристикам к современному андскому типу [28], а пододвигание океанической плиты под АКО ЛШЗ имело пологий характер со сжатием в области взаимодействия с континентальной корой. На зрелость субдукционных процессов к моменту формирования габброидов золотухинского комплекса и интенсивность закрытия океанического палеобассейна указывает близкий возраст (2097–2022 млн лет) активнокраинных и синколлизийных процессов, маркируемых в пределах ВКМ гранитоидным магматизмом [28–34].

Таким образом, модель формирования габброидов золотухинского комплекса позволяет рассматривать исходную палеогеодинамическую обстановку их формирования как рифтогенную, заложенную на континентальном основании орогенного сооружения восточной АКО палеократона Сарматия, в тыловой части которого господствовал режим растяжения [17], фиксируемый внедрением габброидов с возрастом около 2070 млн лет [8].

Итак, минералого-петрографические и петролого-геохимические особенности габброидной ассоциации золотухинского комплекса указывают на значительную степень влияния субдукционной компоненты при их формировании в условиях корово-мантийного взаимодействия и контаминации родоначальных мантийных расплавов продуктами нижней базитовой части континентальной коры. Это подтверждается данными изотопных исследований Sm-Nd и Rb-Sr (низкое значение $I(Sr)$, указывающее на мантийный источник и отрицательные значения как $\epsilon Nd_{(2066)}$ от -5 до -7 , так и $\epsilon Nd_{(0)}$, близкие к таковым для нижней континентальной коры.

Принимая во внимание близость возраста кристаллизации интрузивных рифтогенных габброидов золотухинского комплекса ко времени коллизийных процессов на востоке палеократона Сарматия, пред-

лагается модель их формирования в геодинамической обстановке рифтогенеза в тылу орогенного сооружения, расположенной восточнее активно-континентальной окраины андского типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернышов Н. М. Гипербазиты КМА / Н. М. Чернышов, В. Л. Бочаров, С. М. Фролов. – Воронеж, 1981. – 252 с.
2. Чернышов Н. М. Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2004. – 448 с.
3. Бочаров В. Л. Геохимия и рудоносность ультрабазит-базитовых формаций Воронежского кристаллического массива : автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук / В. Л. Бочаров. – Киев, 1985. – 56 с.
4. Бойко П. С. Золотухинский комплекс КМА (геология, состав, условия формирования и перспективы рудоносности) : автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук / П. С. Бойко. – СПб., 2013. – 24 с.
5. Бойко П. С. Петрографические особенности породных ассоциаций золотухинского комплекса КМА / П. С. Бойко // Труды молодых ученых Воронеж. гос. ун-та. – 2010. – Вып. № 1/2. – С. 107–112.
6. Бойко П. С. Петрография пород второй фазы золотухинского комплекса (структурно-формационная зона КМА) / П. С. Бойко // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – 2010. – № 2. – С. 159–170.
7. Бойко П. С. Минералого-геохимические особенности пород и признаки контаминации габброноритов второй фазы золотухинского комплекса КМА / П. С. Бойко // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – 2012. – № 1. – С. 67–75.
8. Альбеков А. Ю. Реперное U-Pb изотопное датирование палеопротерозойских габброидных формаций Курского блока Сарматии (Воронежский кристаллический массив) / А. Ю. Альбеков, М. В. Рыборак, П. С. Бойко // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – 2012. – № 2. – С. 84–95.
9. Альбеков А. Ю. Геология, петрология и минерагеническая оценка перспектив рудоносности габбродолеритовых массивов трапповой формации Воронежского кристаллического массива : автореф. канд. ... дис. геол.-минер. наук / А. Ю. Альбеков. – Воронеж, 2002. – 24 с.
10. Olive V. A Protocol for the determination of the rare earth elements at picomole level in rocks by ICP-MS: Results on geological reference materials USGS PCC-1 and DTS-1 / V. Olive,

R. M. Ellam, L. Wilson // Geostandards Newsletter – the Journal of Geostandards and Geoanalysis, 2001. – Vol. 25. – P. 219–228.

11. Саватенков В. М. Поведение изотопных систем (Sm–Nd, Rb–Sr, K–Ar, U–Pb) при щелочном метасоматозе (фениты экзоконтакта щелочно-ультраосновной интрузии) / В. М. Саватенков, И. М. Морозова, Л. К. Левский // Геохимия. – 2004. – № 10. – С. 1027–1049.

12. Jensen L. S. A New Cation Plot for Classifying Subalkalic Volcanic Rocks / L.S. Jensen Ontario Div. Mines, 1976. MP 66. – 22 p.

13. Kuno H. Differentiation of basalt magmas / H. Kuno, H. H. Hess, A. Poldervaart (eds) // Basalts: The Poldervaart treatise on rocks of basaltic composition. – N.Y., 1968. – Vol. 2: Interscience. – P. 623–688.

14. Sun S.-S. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes / S.-S. Sun, W. F. McDonough, Eds A. D. Saunders, M. J. Norry // Magmatism in the Ocean Basins / Geok Soc. Spec. Publ. – 1989. – № 42. – P. 313–345.

15. Шарков Е. В. Формирование расслоенных интрузивов и связанного с ними оруденения / Е. В. Шарков. – М.: Научный мир, 2006. – 368 с.

16. Холин В. М. Геология, геодинамика и металлогеническая оценка раннепротерозойских структур КМА : автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук / В. М. Холин. – Воронеж, 2001. – 24 с.

17. Модель геодинамического развития ВКМ / Н. М. Чернышов [и др.] // Геотектоника. – 1997. – № 3. – С. 21–30.

18. Минерагенические исследования территорий с двухъярусным строением на примере Воронежского кристаллического массива / В. М. Ненахов [и др.]. – М.: ГЕОКАРТ. ГЕОС, 2007. – 284 с.

19. Великославинский С. Д. Новая дискриминационная диаграмма для классификации островодужных и континентальных базальтов на основе петрохимических данных / С. Д. Великославинский, А. В. Глебовицкий // Доклады Академии наук. – 2005. – Т. 401, № 2. – С. 213–216.

20. Cabanis B. Le diagramme La/10-Y/15-Nb/8: un outil pour la discrimination des series volcaniques et la mise en evidence des processus de melange et/ou de contamination crustale / V. Cabanis, M. Lecolle // C.R. Acad. Sci. – 1989. – Ser. II, Vol. 309. – P. 2023–2029.

21. Носова А. А. Петрология позднекембрийского и палеозойского внутрилитного базитового вулканизма Восточно-Европейской платформы : автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук / А. А. Носова. – М.: ИГЕМ, 2007. – 48 с.

22. Мартынов Ю. А. Основы магматической геохимии / Ю. А. Мартынов. – Владивосток : Дальнаука, 2010. – 228 с.

23. Геохимия и Sr-Nd-Pb изотопная систематика пород Акаутевского массива (юго-восточное Забайкалье) / С. А. Сасим [и др.] // Материалы конференции «Граниты и эволюция Земли : геодинамическая позиция, петрогенезис и рудоносность гранитоидных батолитов». – Улан-Удэ, 2008. – Режим доступа: <http://geo.stbur.ru/info/granites/st/st210.html>

24. Геодинамика восточной окраины Сарматии в палеопротерозое / А. А. Щипанский [и др.] // Геотектоника. – 2007. – № 1. – С. 43–70.

25. Ненахов В. М. Тектоническая эволюция Лосевской шовой зоны Воронежского кристаллического массива в палеопротерозое / В. М. Ненахов, С. В. Бондаренко // Геотектоника. – 2011. – № 4. – С. 43–59.

26. Артеменко Г. В. Геохронология Среднеприднепровской, Приазовской и Курской гранит-зеленокаменных областей УЩ и ВКМ : автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук / Г. В. Артеменко. – Киев, 1998. – 48 с.

27. Зона сочленения Сарматии и Волго-Уралии : изотопно-геохронологическая характеристика супракустальных пород и гранитоидов / Е. В. Бибилова [и др.] // Стратиграфия. Геол. корреляция. – 2009. – Т. 17, № 6. – С. 3–16.

28. Кременецкий А. А. Воронежская параметрическая скважина – новый этап познания глубинного строения Воронежского кристаллического массива / А. А. Кременецкий [и др.] // Разведка и охрана недр. – 2006. – № 9/10. – С. 109–117.

29. Геохимия и возраст гранитоидов востока Воронежского кристаллического массива (ВКМ) / К. А. Савко [и др.] // Тезисы докл. науч. конф. «Гранитоиды : условия формирования и рудоносность». – Киев : ИГРМ НАН Украины, 2013. – С. 116–118.

30. Терентьев Р. А. Проявления син- и постколлизийных гранитов Лосевской шовой зоны (Воронежский кристаллический массив) / Р. А. Терентьев // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – 2013. – № 2. – С. 70–85.

Воронежский государственный университет

Бойко П. С., преподаватель кафедры минералогии, петрографии и геохимии

E-mail: boyko@geol.vsu.ru

Тел.: 8 (473) 220-87-79

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

E-mail: sashaalb@list.ru

Тел.: 8 (473) 220-79-66

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

E-mail: maximm.r@gmail.com

Тел.: 8 (473) 220-79-66

Voronezh State University

Boiko P. S., Lecturer of the Mineralogy, Petrology and Geochemistry Department

E-mail: boyko@geol.vsu.ru

Tel.: 8 (473) 220-87-79

Al'bekov A. Yu., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor of the Mineralogy, Petrology and Geochemistry Department

E-mail: sashaalb@list.ru

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

Ryborak M. V., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor of the Mineralogy, Petrology and Geochemistry Department

E-mail: maximm.r@gmail.com

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