УДК: 551.72:550.42.

DOI: 10.24411/1728-5283-2020-10201

ΡΕΔΚΟ3ΕΜΕΛЬΗЫΕ И ΡΕΔΚИΕ ЭΛΕΜΕΗΤЫ В МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОДАХ СРЕДНЕГО РИФЕЯ БАШКИРСКОГО МЕГАНТИКЛИНОРИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ) И ИХ РОЛЬ В РЕКОНСТРУКЦИИ МАГМАТИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ*

© Н.Д. Сергеева,

кандидат геолого-минералогических ведущий научный сотрудник, Институт геологии, Уфимский федеральный исследовательский центр РАН, ул. К. Маркса, 16/2, 450077, г. Уфа, Российская Федерация эл. почта: riphey@ufaras.ru

© В.Н. Пучков,

доктор геолого-минералогических наук, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник, Институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого, Уральское отделение РАН, ул. Академика Вонсовского, 15, 620016, г. Екатеринбург, Российская Федерация эл. почта: puchkv2@mail.ru

© A.A. Краснобаев,

доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого, Уральское отделение РАН, ул. Академика Вонсовского, 15, 620016, г. Екатеринбург, Российская Федерация эл. почта: krasnobaev@igg.uran.ru

© С.Г. Ковалев,

доктор геолого-минералогических наук, директор Института геологии, Уфимский федеральный исследовательский центр РАН, ул. К. Маркса, 16/2, 450077, г. Уфа, Российская Федерация эл. почта: kovalev@ufaras.ru

© A.A. Ратов,

младший научный сотрудник, Институт геологии, Уфимский федеральный исследовательский центр РАН, ул. К. Маркса, 16/2, 450077, г. Уфа, Российская Федерация эл. почта: ratov1990@icloud.com

В статье рассматривается машакское магматическое событие среднего рифея в Башкирском мегантиклинории (Южный Урал). Датирование магматических образований в рифее в последние годы на Южном Урале и сопредельной части Русской плиты U-Pb методом по циркону и бадделеиту (SHRIMP и ID-TIMS) показало значительное развитие магматических процессов на рубеже нижнего и среднего рифея в указанных регионах. Событийный подход в решении геологических задач может служить основой для определения переломных рубежей в истории геологического развития регионов. При этом природа и характер магматических событий могут иметь в каждом регионе свою специфику, для выявления которой в статье рассматриваются особенности содержания, состава и распределения редкоземельных (РЗЭ) и редких (РЭ) элементов-примесей в надежно датированных магматических породах интрузивных (пикриты, габбро, долериты, граниты) и вулканогенных (базальты, дациты и риолиты) комплексов машакского магматического события среднего рифея Башкирского мегантиклинория (Южный Урал). Перечисленные типы магматических пород имеют полный спектр РЗЭ, значительные вариации в содержании и характере распределения элементов-примесей. Для определения источников вещества магматических образований (коровый и/или мантийный) использовано отношение реперных элементов-примесей Sr и Rb. Установлено, что формирование ультрабазитов и базитов машакского магматического комплекса происходит в основном за счет мантийного вещества, а гранитоидных магм – с участием коровой компоненты.

Полученные результаты изучения элементов-примесей в магматических породах среднего рифея региона согласуются с представлениями о суперплюмовой природе рифтогенеза и связанных с ним магматических процессах.

Ключевые слова: машакская свита, магматические породы, редкоземельные и редкие элементы, рифт, кора, мантия, Башкирский мегантиклинорий, Южный Урал

^{*} Исследования выполнены в соответствии с планами научно-исследовательских работ Института геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН (темы гос. заданий № 0246-2019-0087 и № 0252-2017-0012) и Института геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения РАН (тема гос. задания АААА-А18-118052590032-6)

© N.D. Sergeeva¹, V.N. Puchkov², A.A. Krasnobaev², S.G. Kovalev¹, A.A. Ratov¹

RARE EARTH AND TRACE ELEMENTS IN MAGMATIC ROCKS OF THE MIDDLE RIPHEAN OF THE BASHKIR MEGANTICLINORIUM (SOUTHERN URALS) AND THEIR ROLE IN RECONSTRUCTION OF MAGMATIC EVENTS

¹ Institute of Geology, Ufa Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, 16/2, ulitsa Karla Marksa, 450077, Ufa, Russian Federation e-mail: riphey@ufaras.ru kovalev@ufaras.ru ratov1990@icloud.com

² Institute of Geology and Geochemistry, Uralian Branch of the Russian Academy of Sciences, 15, ulitsa Akademika Vonsovskogo, 620016, Ekaterinburg, Russian Federation e-mail: puchkv2@mail.ru krasnobaev@igg.uran.ru

The article discusses the Middle Riphean Mashak magmatic event in the Bashkir Meganticlinorium (Southern Urals). The recent-year dating of the Riphean magmatic formations in the Southern Urals and the adjacent part of the Russian Plate by U-Pb method using zircon and baddelevite (SHRIMP and ID-TIMS) showed a significant development of magmatic processes close to the boundary between the Lower and Middle Riphean in these regions. An event-based approach to solving geological problems can serve as a basis for placing milestones in the history of geological development of the regions. Moreover, the nature of magmatic events in each region can have its own specificity. To identify it, we consider the features of the composition and distribution of rare-earth (REE) and trace (TE) elements in reliably dated Middle Riphean plutonic igneous (picrites, gabbros, dolerites, granites) and volcanic rocks (basalts, dacites and rhyolites) of the Bashkir Meganticlinorium (Southern Urals). These types of rocks have a full range of REE and considerable variations in the content and nature of the distribution of trace elements. To determine the sources of matter of magmatic formations (crustal and/or mantle), we used the ratios of reference trace elements Sr and Rb. It has been established that the formation of ultramafic and mafic rocks of the Mashak igneous complex occurs mainly due to mantle sources, while granitoid magmas are formed with the participation of the crustal component.

The results of the study on trace elements in the Middle Riphean igneous rocks of the region are consistent with the ideas about the superplume nature of rifting and related magmatic processes.

Key words: Mashak Formation, igneous rocks, rareearth and trace elements, rift, crust, mantle, Bashkir Meganticlinorium, Southern Urals

Магматические породы среднего рифея в Башкирском мегантиклинории (Южный Урал) представлены интрузивными (от габбро до гранитов и нефелиновых сиенитов) и вулканогенными (от базальтов до риолитов) образованиями, формирование которых связывают с рифтогенезом суперплюмовой природы [1, 2]. Работами последних лет [3, 4, 5, 6] по датированию магматических образований в рифее на Южном Урале и сопредельной части Русской плиты U-Pb методом по циркону и бадделеиту (SHRIMP и ID-TIMS) показано значительное развитие

магматических процессов на рубеже нижнего и среднего рифея в указанных регионах. В Башкирском мегантиклинории среднерифейские вулканогенные образования значительной мощности участвуют в сложении машакской и ее аналогов кувашской, аюсапканской и белетарской свит, в виде дайковых роев и глубинных интрузий присутствуют в поле развития отложений нижнего рифея, а на сопредельной части Восточно-Европейской платформы дайки долеритов с датировками машакского времени, прорывающие нижнего рифея, отложения подсечены

в скважинах 183 Мензелино-Актанышская [7] и 1 Восточно-Аскинская [8].

Событийный подход может служить основой для определения переломных рубежей в геологической истории региона, при этом природа и характер событий в каждом регионе могут иметь свою специфику.

Для выявления особенностей машакского магматического события в среднем рифее Башкирского мегантиклинория в статье рассматриваются редкоземельные (РЗЭ) и ред-

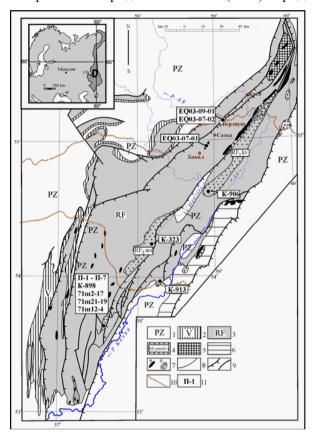


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Башкирского мегантиклинория (Южный Урал). По [6] с упрощениями

Нерасчлененные отложения: 1 - палеозоя, 2 венда, 3 - рифея, 4 - вулканогенно-осадочные отложения машакской и кувашской свит; 5 - нерасчлененные породы тараташского метаморфического комплекса (архей-нижнепротерозойского возраста); 6 - метаморфические образования Уфалейского и Уралтауского антиклинориев, 7 - магматические образования: габбродолериты (а) и граниты (б); 8 - геологические границы, 9 – основные разрывные нарушения, 10 – автомагистрали, 11 - местоположение проб

кие (РЭ) элементы-примеси в магматических породах надежно датированных магматических комплексов: габбро Бердяушского плутона и Главной Бакальской дайки; граниты Ахмеровского массива; пикриты, метабазальты, дациты, риолитовые порфиры и риолиты Шатакского, Машакского и Кувашского комплексов. Геологическая позиция магматических образований и местоположение проб показаны на рисунке 1 и в сводном стратиграфическом разрезе машакской свиты (рис. 2).

| | _ | _ | _ | _ | | | | | | |
|---------------|----------------------------------|---------------|----------|-------------|--|--|--|--|--|--|
| | Свита | Подсвита | Толща | Мощность, м | Литология | | | | | |
| | | 2 | | | | | | | | |
| | š) | В | × | Г | _·-·-· 2 | | | | | |
| | (RF2 mš) | | ≖ | | | | | | | |
| | Œ | В | Ξ | -20 | | | | | | |
| | В | н | × | 002-009 | - | | | | | |
| | | | e p | ľ | 5 | | | | | |
| | | × | m | | - 6 | | | | | |
| | а | d | F | Н | · · · · · · · · · · · · · · · · · · · | | | | | |
| | | | <u>~</u> | | | | | | | |
| | × | e | Нижняя | 500 | 8 | | | | | |
| | | اسا | | | 9 | | | | | |
| | ၁ | | H | Н | · / · · · · · · · · · · · · · · · · · · | | | | | |
| | | В | | | . • · · · / · L L L | | | | | |
| | × | В | | | L L L L L M W M | | | | | |
| | | Н | | | • • • • • • • • • • • • • • • • • • • | | | | | |
| | а | ц | | 900 | · / · · · · · · · · · / / / / / / / / / | | | | | |
| | | b e | | Ĭ | U | | | | | |
| | | C | | | 0 | | | | | |
| | H | $\overline{}$ | H | H | a 6 - 15 | | | | | |
| | | K | | _ | ■ Π-1 ₁₆ | | | | | |
| | а | В | | 00 | | | | | | |
| | | н | | 800-1000 | | | | | | |
| | M | | | × | L L L L L | | | | | |
| | _ | × | | | 898 323 11-5 11-6 | | | | | |
| 00 M | | И | | | 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 | | | | | |
| | | Η | | | 11-3, 11-2, 11-1 | | | | | |
| 1 | \square | | Щ | | 71 m2-17 71 m2-1-9 71 m12-4 | | | | | |
| $_{0}\rfloor$ | | 1 | | L | 71m12-4 | | | | | |
| | 1. Юшинская (RF ₁ jš) | | | | | | | | | |

2. Зигальгинская свита (RF, zg)

Рис. 2. Сводная стратиграфическая колонка отложений машакской свиты среднего рифея Южного Урала. [6] с дополнениями

1 - конгломерато-брекчии, 2 - конгломераты, 3 гравелиты, 4-6 - песчаники: 4 - кварцевые, 5 - полимиктовые, 6 - полевошпат-кварцевые, 7 - туфопесчаники; 8 – алевролиты, 9 – сланцы глинистые, 10 – доломиты, 11 – метабазальты, 12 – дациты, 13 – риолиты, 14 - пикриты, 15 - характеристика пород: глинистость (а), углеродистость (б); 16-места отбора проб на циркон

Элементы-примеси в магматических породах среднего рифея

Определение РЗЭ и РЭ в породах магматических комплексов выполнено массспектральным (масс-спектрометр Elan-6100 "Perkin Elmer") и атомно-эмиссионным (спектрометр Optima-4300 DV "Perkin-Elmer") методами в лабораториях ФГУП «ВИМС» (г. Москва) и ИГиГ УрО РАН (г. Екатеринбург), а полученные аналитические данные отражены в таблицах 1–4.

ТАБЛИЦА 1 — Содержание (г/т) редкоземельных элементов в магматических породах ультраосновного и основного состава среднего рифея Башкирского мегантиклинория (Южный Урал)

| Порода | | Пикриты | | | Габбро | | Метабазальт | | | | |
|------------------|----------|---------|---------|----------------|----------------|----------------|-------------|--------|--------|--------|--|
| Проба элемент | 71ш2-17 | 71ш21-9 | 71ш12-4 | EQ03-07- 01 | EQ03-09- 01 | EQ03-09- 02 | П-1 | П-2 | П-3 | П-7 | |
| La | 19,1973 | 2,45714 | 20,5139 | 13,5 | 12,9 | 11,4 | 13,736 | 12,875 | 19,185 | 12,097 | |
| Ce | 42,2671 | 5,95477 | 45,5709 | 31,9 | 31,7 | 28,9 | 34,924 | 24,421 | 34,654 | 30,981 | |
| Pr | 5,64861 | 0,76726 | 5,80687 | 3,86 | 4,06 | 3,71 | 4,583 | 4,274 | 5,745 | 4,07 | |
| Nd | 24,4266 | 3,52391 | 25,2317 | 17,7 | 19,1 | 17,4 | 21,217 | 19,848 | 25,625 | 18,76 | |
| Sm | 5,55648 | 0,91328 | 5,75931 | 4,5 | 5,1 | 4,5 | 5,325 | 5,027 | 5,63 | 4,806 | |
| Eu | 1,17905 | 0,19280 | 1,27548 | 1,69 | 1,88 | 1,71 | 1,802 | 1,567 | 1,939 | 1,63 | |
| Gd | 5,78453 | 0,98730 | 6,08511 | 4,6 | 5,1 | 4,8 | 6,003 | 5,858 | 5,997 | 5,458 | |
| Tb | 0,94453 | 0,17329 | 0,98731 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,959 | 0,91 | 0,892 | 0,88 | |
| Dy | 5,81026 | 1,23269 | 5,99197 | 4,2 | 4,5 | 4,1 | 6,406 | 6,063 | 5,897 | 5,844 | |
| Но | 1,20665 | 0,24808 | 1,26935 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 1,321 | 1,252 | 1,188 | 1,210 | |
| Er | 3,34686 | 0,70104 | 3,46025 | 2,3 | 2,3 | 2,2 | 3,665 | 3,493 | 3,181 | 3,397 | |
| Tm | 0,47498 | 0,10584 | 0,50961 | 0,31 | 0,33 | 0,29 | 0,522 | 0,494 | 0,436 | 0,487 | |
| Yb | 3,025515 | 0,67326 | 3,18234 | 1,9 | 2,0 | 1,7 | 3,497 | 3,197 | 2,735 | 3,190 | |
| Lu | 4,45294 | 0,10042 | 0,48550 | 0,26 | 0,26 | 0,25 | 0,517 | 0,478 | 0,384 | 0,461 | |

Анализы выполнены в лаборатории ИГиГ УрО РАН (г. Екатеринбург)

Примечание — использованы данные для проб: EQ03-07-01, EQ03-09-01, EQ03-09-02 [3] и 71ш2-17, 71ш2-9, 71ш2-4 [2]

ТАБЛИЦА 2 – Содержание (г/т) редкоземельных элементов в магматических породах кислого состава среднего рифея Башкирского мегантиклинория (Южный Урал)

| Порода | Гранит* | | Дацит | | Риолит | | | |
|------------------|---------|--------|---------|--------|--------|---------|---------|--|
| Проба элемент | К-913 | П-4 | П-5 | П-6 | К-323 | К-898 | К-906 | |
| La | 51,062 | 24,20 | 139,154 | 24,98 | 67,463 | 61,951 | 61,518 | |
| Ce | 113,954 | 54,524 | 304,804 | 55,153 | 92,63 | 125,062 | 130,393 | |
| Pr | 16,8 | 8,705 | 31,142 | 7,942 | 16,812 | 20,424 | 18,774 | |
| Nd | 61,755 | 35,46 | 116,727 | 31,957 | 66,1 | 78,926 | 72,697 | |
| Sm | 10,979 | 8,381 | 24,165 | 6,26 | 12,398 | 14,508 | 12,804 | |
| Eu | 1,645 | 1,602 | 4,029 | 1,065 | 2,021 | 2,522 | 2,164 | |
| Gd | 9,763 | 8,41 | 16,892 | 6,875 | 10,554 | 13,722 | 10,865 | |
| Tb | 1,513 | 1,396 | 1,997 | 1,138 | 1,567 | 2,157 | 1,649 | |
| Dy | 9,615 | 9,357 | 10,912 | 7,933 | 9,679 | 13,743 | 10,026 | |
| Но | 1,951 | 2,188 | 2,135 | 1,728 | 2,028 | 2,854 | 2,106 | |
| Er | 5,677 | 7,50 | 6,441 | 5,337 | 6,109 | 8,15 | 6,399 | |
| Tm | 0,84 | 1,266 | 1,00 | 0,844 | 0,956 | 1,232 | 1,022 | |

Анализы выполнены в лаборатории ИГиГ УрО РАН (г. Екатеринбург)

Примечание – пробы К-898, К-906, К-323 из коллекции А.А. Краснобаева.

ТАБЛИЦА 3 – Содержание (г/т) редких элементов (РЭ) в магматических породах среднего рифея Башкирского мегантиклинория (Южный Урал)

| Породы | | Пикриты* | | | Габбро' | k | Метабазальты | | | |
|-------------------|---------|----------|---------|----------------|----------------|----------------|--------------|---------|---------|---------|
| Проба Элементы | 71ш2-17 | 71ш21-9 | 71ш12-4 | EQ03- 07-01 | EQ03- 09-01 | EQ03-09- 02 | П-1 | П-2 | П-3 | П-7 |
| Cs | 0,06132 | 0,02174 | 0,12652 | 0,6 | 4,0 | 2,8 | 0,175 | 0,205 | 0,024 | 1,447 |
| Rb | 1,43782 | 0,21216 | 4,01942 | 23 | 109 | 90 | 1,378 | 2,85 | 0,431 | 12,331 |
| Th | 1,74225 | 0,67787 | 1,69281 | 1,7 | 0,7 | 0,6 | 1,858 | 1,580 | 8,353 | 1,752 |
| U | 0,48866 | 0,16443 | 0,41111 | 0,4 | 0,2 | 0,1 | 0,542 | 0,430 | 0,405 | 0,655 |
| Pb | 45,0028 | 0,66371 | 10,0244 | -5 | -5 | -5 | 2,193 | 1,428 | 6,361 | 17,867 |
| Ba | 17,5291 | 1,95345 | 44,5035 | 264 | 919 | 919 | 20,612 | 33,374 | 18,644 | 73,802 |
| Nb | 16,4015 | 1,61594 | 17,6652 | 11 | 8 | 7 | 11,415 | 11,920 | 14,945 | 9,856 |
| Та | 0,80854 | 0,09216 | 0,86590 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,779 | 0,709 | 0,822 | 0,651 |
| Ве | 0,85046 | 0,17730 | 1,40833 | - | - | - | 0,782 | 0,861 | 0,891 | 0,643 |
| W | 0,42533 | 0,08369 | 0,46536 | -1 | 1 | -1 | 0,189 | 0,168 | 1,818 | 1,331 |
| Sr | 531,569 | 1,33674 | 213,690 | 273 | 391 | 370 | 35,974 | 38,097 | 258,335 | 158,201 |
| Zr | 136,866 | 25,7522 | 142,965 | 125 | 110 | 102 | 120,491 | 107,458 | 86,128 | 102,929 |
| Hf | 3,41067 | 0,77513 | 3,81420 | 3,6 | 3,2 | 3,0 | 4,312 | 3,641 | 2,832 | 3,606 |

^{*}Использованы данные для проб: K-913 [4] и EQ03-07-01, EQ03-09-01и EQ03-09-02 [3]

| Li | 1,61803 | 0,23215 | 2,98514 | - | - | - | 47,96 | 54,477 | 12,636 | 13,458 |
|----|---------|---------|---------|----|----|----|----------|-----------|-----------|----------|
| Y | 36,1904 | 7,14076 | 39,5550 | 19 | 21 | 19 | 30,653 | 30,668 | 28,533 | 28,493 |
| Ti | 11102,6 | 1621,36 | 13189,5 | - | - | - | 8888,270 | 10107,089 | 10524,036 | 7957,136 |
| Cu | 48,9341 | 3,21495 | 39,5853 | - | - | - | 45,215 | 74,366 | 47,015 | 269,758 |
| Sc | 37,9293 | 17,1556 | 41,5975 | | | | 34,273 | 42,267 | 35,694 | 33,614 |
| V | 378,485 | 101,996 | 403,836 | - | - | - | 325,997 | 377,883 | 355,012 | 318,080 |
| Со | 50,8709 | 70,4589 | 47,5408 | - | - | - | 59,097 | 62,416 | 50,287 | 45,350 |
| Cr | 70,2819 | 2659,81 | 193,323 | - | - | - | 50,83 | 62,436 | 167,522 | 77,803 |
| Ni | 52,9389 | 817,149 | 88,8399 | - | - | - | 48,483 | 58,428 | 112,939 | 66,315 |

Анализы выполнены в лаборатории ИГиГ УрО РАН (г. Екатеринбург).

ТАБЛИЦА 4 — Содержание (г/т) редких элементов (РЭ) в магматических породах кислого состава среднего рифея Башкирского мегантиклинория

| Породы | Гранит* | | Дацит | 1 | P | ЮЛИТ |
|-------------------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Проба Элементы | K-913 | П-4 | П-5 | П-6 | К-323 | K-898 |
| Cs | 2,683 | 0,44823 | 1,751793 | 0,902124 | 1,155 | 0,486 |
| Rb | 85,46 | 22,66851 | 59,27986 | 44,74826 | 89,748 | 67,676 |
| Th | 14,435 | 11,67171 | 14,08406 | 13,08445 | 12,919 | 16,533 |
| U | 2,479 | 9,5572 | 4,270222 | 3,853628 | 3,485 | 4,213 |
| Pb | 20,302 | 4,375904 | 3,676475 | 2,116808 | 4,581 | 2,56 |
| Ba | 983,296 | 66,37498 | 396,7031 | 205,8392 | 539,973 | 604,428 |
| Nb | 49,597 | 46,57158 | 49,15352 | 43,66309 | 67,171 | 67,324 |
| Ta | 3,348 | 4,188031 | 3,90437 | 3,592988 | 6,754 | 4,482 |
| Be | 2,415 | 0,979958 | 3,268255 | 1,759196 | 3,377 | 4,53 |
| W | 0,461 | 1,421917 | 2,273486 | 2,676318 | 1,08 | 1,126 |
| Sr | 63,794 | 7,050015 | 51,53903 | 40,81639 | 21,485 | 47,658 |
| Zr | 160,043 | 571,9285 | 399,083 | 377,5452 | 383,881 | 390,922 |
| Hf | 6,112 | 19,85965 | 13,73273 | 13,03506 | 12,686 | 13,879 |
| Li | 13,065 | 76,46608 | 24,71958 | 14,34194 | 6,867 | 6,331 |
| Y | 48,959 | 44,57601 | 40,60257 | 33,47651 | 55,569 | 71,306 |
| Ti | 1491,62 | 2514,297 | 2247,703 | 2231,17 | 3627,465 | 2633,616 |
| Cu | 11,685 | 118,3393 | 35,62751 | 26,07742 | 12,078 | 10,77 |
| Sc | 4,823 | 5,895778 | 6,405807 | 6,576959 | 8,793 | 9,998 |
| V | 6,104 | 65,51648 | 16,0427 | 20,22896 | 16,865 | 13,077 |
| Со | 1,742 | 38,38277 | 8,260475 | 7,054579 | 4,219 | 3,544 |
| Cr | 33,189 | 19,43927 | 33,63159 | 46,3087 | 309,273 | 148,557 |
| Ni | 4,554 | 92,03211 | 30,32234 | 35,46794 | 11,001 | 6,079 |

Анализы выполнены в лаборатории ИГиГ УрО РАН (г. Екатеринбург). Примечание – пробы К323, К898 из коллекции А.А. Краснобаева

^{*}Использованы данные для проб: 71ш2-17, 71ш21-9, 71ш12-4 [2], EQ03-07-01, EQ03-09-01и EQ03-09-02 [3]

^{*}Использованы данные для проб: К-913 [4]

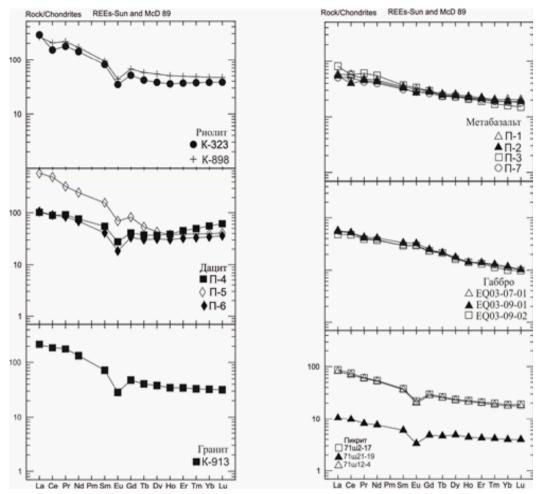


Рис. 3. Распределение РЗЭ в магматических образованиях среднего рифея Башкирского меганти-

Местоположение проб П-1 и других см. рис. 1 и 2. Аналитические данные см. табл. 1 и 2 Использованы данные для проб: К913 [4], EQ03-07-01, EQ03-09-01, EQ03-09-02 [3] и 71ш2-17, 71ш21-9, 71ш12-4 из коллекции Ковалева С.Г. [2]

Для всех типов магматических пород машакского события (табл. 1 и 2) характерны полные спектры РЗЭ, а различия проявляются в их содержании. Максимальная сумма РЗЭ отмечена в дацитах (667,123 г/т в пробе П-5) и риолитах (354,439 г/т в пробе К898), что обусловлено более высокой концентрацией легких лантаноидов, особенно Се. В пикритах наблюдается (см. табл. 1) значительное колебание содержания суммы РЗЭ (от 18,03108 г/т в пробе 71ш-9 до 126,1296 г/т в пробе 71ш-12-4), в отличие от габбро, где эти колебания незначительны (от 82,56 г/т в пробе EQ03-09-02 до 90,83 г/т в пробе EQ03-09-01).

Особенности распределения РЗЭ в магматических породах отображены на спайдер-диаграммах (рис. 3), построенных с нормированием содержаний РЗЭ к хондриту по

Характер распределения РЗЭ в магматических породах, отраженный на спайдер-диаграммах, свидетельствует о преобладании легких лантаноидов (ΣLa=La+Ce+Pr+Nd) над тяжелыми (ΣSc=Er+Tm+Yb+Lu). В распределении РЗЭ в гранитах, дацитах, риолитах и пикритах наблюдается четкий Еи минимум, который отсутствует в метабазальтах (Машакский и Шатакский комплексы) и их комагматах – габбро (Бердяушский плутон и Главная Бакальская дайка). Отрицательная европиевая аномалия в гранитоидах может быть связана с тем, что уже на раннем этапе кристаллизации габбро (Бердяушский плутон – 1410–1390 млн лет [5] и Главная Бакальская дайка – 1385,3±1,4 Ma [3]) Eu изоморфно входит в кристаллическую структуру плагиоклаза (основного породообразующего компонента базитов), что приводит к уменьшению его содержания в остаточном расплаве, при участии которого позднее (временной интервал 1348-1383 млн лет [7]) формируются гранитоидные породы. Существует и другая причина, влияющая на возникновение европиевого минимума в магматических породах гранитоидного и ультраосновного состава, обусловленная незначительным содержанием в них плагиоклаза, с которым совместим Еи. Поэтому наличие европиевой аномалии не может служить индикаторным признаком при корреляции разновозрастных магматических образований или определении условий формирования магматических

комплексов. То, что величина европиевого минимума практически не зависит от глубины кристаллизации пород, их возраста и формационной принадлежности, было показано [10] при изучении различных факторов, влияющих на образование отрицательной европиевой аномалии в магматических породах окраинно-континентальных вулканогенных поясов на востоке России (области развития мезозойско-кайнозойского субаэрального вулканизма).

Для сравнения концентраций РЭ (табл. 3 и 4) в породах рассматриваемых магматических комплексов воспользуемся спайдер-диаграммой (рис. 4) с нормированием содержания РЭ к примитивной мантии по [11].

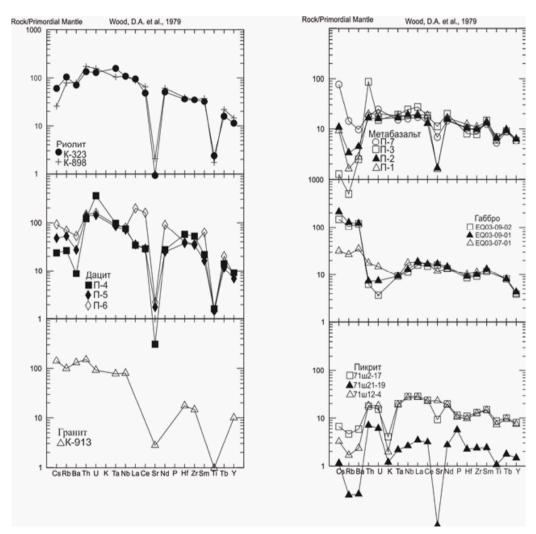


Рис. 4. Распределение РЭ в магматических образованиях среднего рифея Башкирского мегантиклинория (Южный Урал)

Местоположение проб П-1 и других см. рис. 1 и 2. Аналитические данные см. табл. 3 и 4 Использованы данные для проб: К-913 [4], EQ03-07-01, EQ03-09-01и EQ03-09-02 [3] и 71ш2-17, 71ш2-9, 71ш2-4 из коллекции Ковалева С.Г. [2]

В распределении РЭ в магматических породах среднего рифея на спайдер-диаграмме наблюдаются резкие аномалии в концентрации таких реперных элементов-примесей, как Sr и Rb. Отношение Rb/ Sr используется в изотопной геохимии для определения источников вещества магматических образований: коровый и/или мантийный. На спайдер-диаграмме (см. рис. 4) наблюдается отрицательная аномалия по Sr в большей части пород, исключение составляет габбро, где минимум по Sr отсутствует, что может быть обусловлено его когерентностью к плагиоклазу. Наименьшие значения отношений Rb/ Sr (0.012 до 0.366) имеют габбро, пикриты и базальты (см. табл. 3 и 4), что допускает их формирование за счет мантийного вещества, в котором среднее значение Rb/Sr составляет 0.027±0.011 [12].

Рубидий относится к числу элементов, несовместимых с основными плагиоклазами, поэтому он постепенно перемещается из мантии в кору, где может входить в структуры калиевых полевых шпатов и слюд. Вещество коры обогащается Rb, и для коровых пород, в отличие от мантийных, характерны более высокие значения Rb/Sr. В гранитах, дацитах и риолитах машакского комплекса значение Rb/Sr достигает 4.177 (проба К323), что может свидетельствовать о контаминировании вещества коры при формировании гранитоидных расплавов.

Реконструкция источников вещества

Для целей реконструкции источников вещества вулканоплутонических образований воспользуемся вариационной диаграммой АҒМ [13], на которой фигуративные точки магматических пород среднего рифея располагаются вблизи линии разграничения полей толеитовой и известково-щелочной серий (рис. 5).

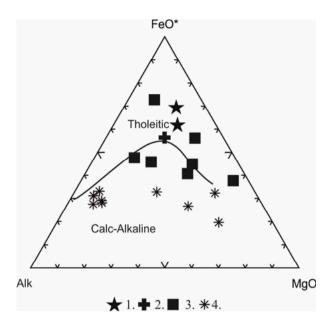


Рис. 5. Классификационная диаграмма AFM [13] вулканоплутонических пород среднего рифея Башкирского мегантиклинория (Южный Урал)

Фигуративные точки: 1 – габбро Бердяушского плутона и 2 - Главной Бакальской дайки; 3 - вулканитов машакской свиты, 4 - гранитов Ахмеровского массива

При этом для гранитов и риолитов характерно расположение фигуративных точек в поле известково-щелочной серии, а для габбро, базальтов и пикритов – в поле толеитовой серии, что согласуется с представлением о формировании основных и ультраосновных пород с повышенным содержанием железа и магния за счет мантийного вещества. Что же касается гранитов и риолитов, их составы могут свидетельствовать об участии в их образовании процесса плавления нижней части земной коры при проникновении в нее разогретого мантийного вещества [14].

Выводы

Машакское магматическое событие представлено контрастными по составу и генезису типами пород: пикриты, габбро, долериты, базальты, граниты, дациты и риолиты. Перечисленные типы пород имеют полный спектр РЗЭ, различия проявляются в их содержании. Максимальное количество РЗЭ отмечено в риолитах за счет повышенных концентраций легких лантаноидов.

В распределении РЗЭ в магматических породах машакского события установлено наличие европиевой аномалии (минимума) в гранитоидных (гранит, дацит, риолит) и ультраосновных (пикрит) образованиях, обусловленное незначительным содержанием в этих породах плагиоклаза, концентратора Ец. Полученные данные согласуются с представлениями [10] о том, что величина европиевого минимума не зависит от глубины кристаллизации пород, их возраста и не может служить корреляционным признаком или индикатором условий формирования магматических пород.

Использование Rb/Sr отношения для определения источников вещества магматичес-

ких образований (коровый и/или мантийный) показало, что основные и ультраосновные породы характеризуются отношением Rb/Sr, аналогичным мантийному веществу. Это допускает формирование габбро (Бердяушский массив, Главная Бакальская дайка), пикритов (Шатакский комплекс и др.) и базальтов (Машакский, Шатакский и Кувашский комплексы) за счет вещества мантии. Высокие значения Rb/Sr отношений в гранитах, дацитах и риолитах свидетельствуют об участии коровой компоненты при формировании гранитоидных пород Ахмеровского массива, Шатакского, Машакского и других магматических комплексов среднего рифея региона.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья: актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении. Уфа: Дизайн-ПолиграфСервис, 2010. 280 с.
- 2. Ковалев С.Г., Высоцкий И.В., Пучков В.Н., Маслов А.В., Гареев Э.З. Геохимическая специализация структурно-вещественных комплексов Башкирского мегантиклинория. Уфа: Дизайн Пресс, 2013. 268 с.
- 3. Ernst R.E., Pease V., Puchkov V.N., Kozlov V.I., Sergeeva N.D., Yamilton V. Geochemical Characterization of Precambrian magmatic suites of the southeastern margin of the East European Craton, Southern Urals, Russia // Геологический сборник № 5. Информ. материалы / ИГ УНЦ РАН. Уфа, 2006. С. 119—161.
- 4. Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н., Родионов Н.В., Нехорошева А.Г., Кисеева К.Н. Ахмеровский гранитный массив представитель мезопротерозойского интрузивного магматизма на Южном Урале // Докл. РАН. 2008. Т. 418. № 2. С. 1—6.
- 5. Краснобаев А.А., Попов В.С., Беляцкий Б.В. Хронологические и генетические соотношения интрузивных пород Бердяушского плутона (Южный Урал) в свете новых U-Pr и Sm-Nd изотопных данных. 3PMO. 2011. Ч. 130. № 2. С. 59—73.
- 6. Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н., Бушарина С.В., Сергеева Н.Д., Падерин И.П. Цирконовая геохронология машакских вулканитов и проблема возраста границы нижний-средний рифей (Южный Урал) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2013. Т. 21. № 5. С. 3—20.
- 7. Puchkov V.N., Bogdanova S.V., Ernst R.E., Koslov V.I., Krasnobaev A.A., Ulf Soderlund, Wingate

- M.T.D., Postnikov A.V., Sergeeva N.D. The ca 1380 Ma Mashak igneous event of the Southern Urals // Lithos. Vol. 174. August1, 2013. P. 109–124.
- 8. Сергеева Н.Д., Пучков В.Н. Стратиграфия рифея и венда Волго-Уральской области (изменения и дополнения) // Общая стратиграфическая шкала и методические проблемы разработки региональных стратиграфических шкал России. Материалы Межведомственного рабочего совещания. Санкт-Петербург, 17—20 октября 2016 г. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2016. С.157—159.
- Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. Saunders A.D. and Norry M.J., Eds., Magmatism in the Ocean Basins, Vol. 42. Geological Society, Special Publications, London, 1989. P. 313—345.
- 10. Мишин Л.Ф. Геохимия европия в магматических породах окраинно-континентальных вулканогенных поясов // Геохимия. 2010. № 6. С. 618—631.
- 11. Wood D.A., Joron Jean-Louis, Treuil M., Norry Michael J., Tarney J. Chemical composition and isotopic ratios of basic lavas from Iceland and the surrounding ocean floor. PANGAEA, 1979. https://doi.org/10.1594/PANGAEA.667460
- 12. Фор Г. Основы изотопной геохимии. М.: Мир, 1989. 590 с.
- 13. Irvine T.N., Baragar W.R.A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Science. 1971. No.8. P. 523–548.
- 14. Пучков В. Н. Плюм-зависимый гранит-риолитовый магматизм // Литосфера. 2018. Т. 18. № 5. С. 692—705. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-5-692-705

REFERENCES

- 1. Puchkov V.N. Geologiya Urala i Priuralya: voprosy aktualnye stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii [Geology of the Urals and Cis-Urals (topical problems of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)]. Ufa, DizaynPoligrafServis, 2010. 280 p. (In Russian).
- Kovalev S.G., Vysotsky I.V., Puchkov V.N., Maslov A.V., Gareev E.Z. Geokhimicheskaya strukturno-veshchestvennykh spetsializatsiya Bashkirskogo megantiklinoriya kompleksov [Geochemical specialization of structural-material complexes of the Bashkir Meganticlinorium]. Ufa, DizaynPress, 2013. 268 p. (In Russian).
- 3. Ernst R.E., Pease V., Puchkov V.N., Kozlov V.I., Sergeeva N.D., Yamilton V. Geochemical Characterization of Precambrian magmatic suites of the southeastern margin of the East European Craton, Southern Urals, Russia. Geological collection No. 5. Information materials. Institute of Geology, Ufa Scientific Centre, RAS. Ufa, 2006, pp. 119-161.
- 4. Krasnobaev A.A., Kozlov V.I., Puchkov V.N., Rodionov N.V., Nekhorosheva A.G., Kiseeva K.N. Akhmerovskiy granitnyy massiv – predstavitel mezoproterozoyskogo intruzivnogo magmatizma na Yuzhnom Urale [Akhmerovsky granite massif as a representative of Mesoproterozoic intrusive magmatism in the Southern Urals]. Doklady RAN — Reports of the Russian Academy of Sciences, 2008, vol. 418, no. 2, pp. 1–6. (In Russian).
- 5. Krasnobaev A.A., Popov V.S., Belyatsky B.V. Khronologicheskie i geneticheskie sootnosheniya intruzivnykh porod Berdyaushskogo plutona (Yuzhnyy Ural) v svete novykh U-Pr i Sm-Nd izotopnykh dannykh [Chronological and genetic relationships of the intrusive rocks of the Berdyaush Pluton (Southern Urals)]. Zapiski Rossiyskogo mineralogicheskogo obshchestva -Proceedings of the Russian Mineralogical Society, 2011, part 80, no. 2, pp. 59-73. (In Russian).
- Krasnobaev A.A., Kozlov V.I., Puchkov V.N., Busharina S.V., Sergeeva N.D., Paderin I.P. Tsirkonovaya geokhronologiya mashakskikh problema vozrasta vulkanitov granitsy nizhniy-sredniy rifey (Yuzhnyy Ural) [Zircon geochronology of Mashak volcanic rocks and the age problem of the boundary between the Lower and Middle Riphean (Southern Urals)]. Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya Stratigraphy. Geological correlation, 2013, vol. 21, no. 5, pp. 3-20. (In Russian).

- 7. Puchkov V.N., Bogdanova S.V., Ernst R.E., Koslov V.I., Krasnobaev A.A., Ulf Soderlund, Wingate M.T.D., Postnikov A.V., Sergeeva N.D. The ca 1380 Ma Mashak igneous event of the Southern Urals. Lithos, vol. 174, August 1, 2013, pp. 109-
- 8. Sergeeva N.D., Puchkov V.N. Stratigrafiya rifeya i venda Volgo-Uralskov oblasti (izmeneniya i dopolneniya) [Riphean and Vendian stratigraphy of the Volga-Ural region (revisions and amendments)]. Obshchaya stratigraficheskaya shkala i metodicheskie problemy razrabotki regionalnykh stratigraficheskikh shkal Rossii [General stratigraphic scale and methodological issues in developing regional stratigraphic scales]. Interdepartmental Workshop Materials "Riphean and Vendian Stratigraphy of the Volga-Ural Region (revisions and amendments)"1. St. Petersburg, October 17–20, 2016. St. Petersburg, VSEGEI, 2016, pp. 157–159. (In Russian).
- Sun S.S., McDonough W.F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. Saunders A.D., Norry M.J. (eds.). Magmatism in the Ocean Basins, vol. 42, Geological Society, Special Publications, London, 313-345.
- 10. Mishin Geokhimiya evropiya magmaticheskikh porodakh okrainnopoyasov kontinentalnykh vulkanogennykh [Geochemistry of europium in igneous rocks of marginal continental volcanogenic belts]. Geokhimiya – Geochemistry, 2010, no. 6, pp. 618-631. (In Russian).
- 11. Wood D.A., Joron J.-L., Treuil M., Norry M.J., Tarney J. Chemical composition and isotopic ratios of basic lavas from Iceland and the surrounding ocean floor. PANGAEA, 1979. Available at: https://doi.org/10.1594/PANGAEA.667460.
- 12. Faure G. Principles of isotope geology. Russian edition. Moscow, Mir, 1989. 590 p.
- 13. Irvine T.N., Baragar W.R.A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Science, 1971, vol. 8, pp. 523-548.
- 14. Puchkov V. N. Plyum-zavisimyy granit-riolitovyy magmatizm [Plume-dependent granite-rhyolite magmatism]. Litosfera – Lithosphere, 2018, vol. 18, no. 5, pp. 692-705. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-5-692-705 (In Russian).