

ГРАФИТ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ МИНЕРАЛЫ ПИКРИТОВ АРИАДНЕНСКОГО МАССИВА УЛЬТРАБАЗИТ-БАЗИТОВ (ПРИМОРЬЕ)

А.И. Ханчук, В.П. Молчанов, А.Н. Голич, Д.В. Андросов

*Дальневосточный геологический институт ДВО РАН,
г. Владивосток, e-mail: vpmol@mail.ru*

Аннотация. На юге Дальнего Востока России в пределах Сихотэ-Алинского орогенного пояса выявлены металлоносные (титан, золото, платина и др.) позднемезозойские интрузии ультрабазит-базитов. Во внешнем контуре одной из них, Ариадненской, установлены дайки флюидоэксплозивных брекчий щелочных пикритов, характеризующиеся довольно высокой степенью углеродизации и обогащением редкоземельными элементами (РЗЭ), а также Ba, Sr, Zr, V, Cr, Nb, Zn. Наиболее распространёнными минералами-концентраторами РЗЭ являются монацит-(Ce) и лукасит-(Ce). Суммарное содержание лантаноидов, среди которых доминируют легкие РЗЭ, изменяется синхронно с концентрацией углеродистого вещества в виде графита. Изотопно-углеродные исследования свидетельствуют об участии в формировании графит-редкоземельной минерализации мантийных и коровых процессов. Предполагается, что ассоциация графита с минералами РЗЭ может служить в качестве одного из индикаторов при прогнозной оценке общего рудного потенциала ультраосновного магматизма.

GRAPHITE AND RARE EARTH MINERALS OF PICRITES OF THE ARIADNE ULTRABASITE-BASITE MASSIF (PRIMORYE)

A.I. Khanchuk, V.P. Molchanov, A.N. Golich, D.V. Androsov

*Far East Geological Institute of the Far Eastern Branch of the Russian
Academy of Sciences, Vladivostok, e-mail: vpmol@mail.ru*

Abstract. In the south of the Russian Far East, metalliferous (titanium, gold, platinum, etc.) Late Mesozoic intrusions of ultrabasic basites have been identified within the Sikhote-Alin orogenic belt. In the outer contour of one of them, the Ariadna dike, there are dikes of fluid-explosive breccias of alkaline picrites, characterized by a fairly high degree of carbonation and enrichment with rare earth elements (REE), as well as Ba, Sr, Zr, V, Cr, Nb, Zn. The most common minerals concentrating REE are monazite-(Ce) and lucasite-(Ce). The total content of lanthanides, dominated by light REE, varies synchronously with the concentration of carbonaceous matter in the form of graphite. Isotope-carbon studies indicate the involvement of mantle and crustal processes in the formation of graphite-rare earth mineralization. It is assumed that the association of graphite with REE minerals can serve as one of

the indicators in the predictive assessment of the total ore potential of ultrabasic magmatism.

В последние годы на юге Дальнего Востока России в пределах западного сегмента Сихотэ-Алинского орогенного пояса установлены углеродизированные (до 1.5-2.0 мас. %) массивы высокотитанистых ультрабазит-базитов, аккумулирующие значительные ресурсы стратегических и критически важных металлов [3]. Одним из модельных объектов может послужить Ариадненский массив, в ультрамафитах центральной части которого локализовано проявление золото-платиноидной минерализации, в мафитах — золото-титановые руды, в северо-восточном экзоконтакте и околоинтрузивной зоне — соответственно золото-сурьмяное и золото-медное рудопроявления. Особый интерес вызывает присутствие к югу от интрузии нескольких даек флюидоэксплозивных брекчий щелочных пикритов, обогащенных РЗЭ, послуживших предметами минералого-геохимических и изотопных исследований.

В геологическом строении изученной площади принимают участие ранне-среднеюрские турбидиты и микститы (субдукционный меланж) верхней части юрско-раннемеловой аккреционной призм с включениями позднепалеозойских и раннемезозойских кремней, известняков и базальтов. Аккреционная призма прорвана в конце средней юры Ариадненской интрузией ультраосновного состава, юго-западная часть которой сложена ультраосновными породами первой фазы — перидотитами и оливинными пироксенитами, постепенно переходящими к центру в ильменитовые и амфиболовые габбро. На северо-востоке интрузива преобладают диориты, монцодиориты и сиениты второй фазы. Ко второй фазе отнесены также немногочисленные, маломощные дайки диабазов, сиенитов, трахибазальтов в интрузии первой фазы [4]. К юго-восточному экзоконтакту плутона приурочено несколько даек флюидоэксплозивных брекчий пикритов (с востока на запад): Малиновская, Магнитная, Карбонатитовая.

Пикриты слагают сравнительно небольшие крутопадающие тела в песчаниках и алевролитах. Макроскопически они представляют собой серовато-зеленоватые породы порфировой структуры и массивной текстуры. Основная масса состоит из микролитов пироксена и вулканического стекла с вкрапленниками оливина, пироксена и рудного минерала. Изредка в основной массе пироксен проявляется в виде лейстовидных зерен, интенсивно замещаемых керсутитом, флогопитом и карбонатом.

Состав пикритов характеризуется довольно высокой железистостью (до 16.0 мас. %) и глиноземистостью (Al_2O_3 до 8.0 мас. %). Это умеренно-высокощелочные породы, отличающиеся высокими концентрациями титана (TiO_2 до 5.0 мас. %) и кальция (CaO до 16.0 мас. %), а также V, Cr, Ni, Zr. Для пикритов типичны высокие суммарные содержания (до 1700 г/т) РЗЭ,

полого-наклонный тренд их распределения и отсутствие ярко выраженных аномалий. На мультиэлементной диаграмме пикриты образуют единую серию с общим минимумом по K, Hf и максимумом по Th и Pb. Распределение некогерентных литофильных элементов свидетельствует об обогащении пикритов крупноионными (Sr, Ba) литофильными элементами и обеднении высокозарядными (Ta). Нормированные к хондриту графики распределения редкоземельных металлов характеризуются выдержанным обогащением легких РЗЭ (La, Ce, Pr, Nd) по отношению к тяжелым лантаноидам. В целом, суммарные содержания РЗЭ в пикритах Ариадненского массива изменяются синхронно с концентрацией углеродистого вещества: чем выше сумма РЗЭ, тем больше степень углеродизации.

Основными носителями РЗЭ в пикритах являются монацит-(Ce) (Ce,La,Nd) PO₄ и лукасит-(Ce) (Ce,Nd,La)(Ti,Fe)₂(O,OH)₆. Монацит, представленный цериевой разновидностью, обычно встречается в виде мелких включений, не превышающих 20 мкм, часто приуроченных к крупным зернам апатита в ассоциации с кварцем. В его составе преобладает Ce₂O₃ (до 38.0 мас. %), в то время как La₂O₃ и Nd₂O₃ характеризуются значительно меньшими содержаниями (соответственно до 26.4 и 10.6 мас. %). Концентрация Pr₂O₃ не превышает 3.3 мас. %.

Еще одной редкоземельной фазой в пикритах является разновидность лукасита-(Ce), встречающаяся в виде микровключений в титаномагнетите и ильмените. В его химическом составе доминируют Ce₂O₃ (до 26 мас. %) и Nd₂O₃ (до 16 мас. %). La₂O₃ и Pr₂O₃ присутствуют в гораздо меньших количествах (не более, соответственно, 8.0 и 4.0 мас. %). В отдельных случаях фиксируется наличие примеси Sm₂O₃ и Gd₂O₃ (не более 2-3 мас. %).

Изученные пикриты характеризуются довольно высокой степенью углеродизации (содержание углерода, по данным элементного анализа, достигает 6.0 мас. %). При оптических исследованиях было отмечено, что углеродистое вещество в пикритах фиксируется в виде частых вкрапленных обособлений, которые находятся как в межзерновом пространстве, так и в самих минералах. Размер этих частиц редко превышает 0.1 мм.

Для выяснения природы углеродистого вещества партия проб пикритов прошла разделение флотационным методом на пенный и камерный продукты. В первом из них концентрируется углеродистое вещество, во втором — редкоземельные минералы. Рентгенофазовый анализ выделенного углеродистого вещества показал, что его основу составляет самородный углерод в форме графита.

Образование графита в природе, как отмечалось ранее [1], возможно при метаморфизме органического вещества, воздействии магматических интрузий на карбонатные породы, восстановлении из флюида мантийного происхождения, насыщенного CH₄, CO, CO₂. Поскольку эти источники характеризуются различными величинами изотопных соотношений ¹³C/¹²C,

то эти параметры можно считать индикаторами генезиса графита. Так, изотопные характеристики углерода органического вещества варьируют в диапазоне $\delta^{13}\text{C}$ от -17 до -40‰ при средних значениях $\delta^{13}\text{C}$ от — 26 до - 28‰ [5]. Морские карбонаты ($\delta^{13}\text{C}$ от -2.0 до +2.0‰) и мантийный углерод (от - 4.5 до - 6.0‰) значительно обогащены тяжелым изотопом ^{13}C относительно органического вещества [6].

Изотопные характеристики углерода графитов Малиновской дайки обладают высокой степенью гомогенности, укладываясь в узкий интервал от -7.7 до -7.9‰, заметно облегченный относительно мантийного источника углерода. Еще более изотопно-легкими оказались графиты дайки Магнитной ($\delta^{13}\text{C}$ от -8.3 до -8.5‰) и Карбонатитовой ($\delta^{13}\text{C}$ от -9.1 до -9.8‰). Изотопное фракционирование обусловлено, скорее всего, изменениями физико-химических характеристик мантийных флюидов (Eh-pH, температуры) в западном направлении. В сущности, изотопно-легкий состав углерода в графитах даек может свидетельствовать об участии в их формировании коровых процессов. Наиболее вероятным источником углерода являются породы аккреционной призмы, для которой характерно обогащение всех пород органическим веществом, а палеоокеанических кремневых отложений — редкоземельными элементами [2]. В процессе становления Ариадненской интрузии, вероятно, в ходе временной остановки субдукции и внедрения подслэбовой астеносферы произошло контаминирование этих пород углеродом и, возможно, мобилизация и концентрация редких земель.

Таким образом, выполненные исследования позволили установить в дайках брекчий щелочных пикритов Ариадненского массива промышленно перспективной графит-редкоземельной минерализации. В ее формировании участвовали мантийные и коровые процессы. Представляется, что присутствие ассоциации графита и минералов РЗЭ имеют определенное прогнозное значение при поиске рудных объектов ариадненского типа. С другой стороны, обнаружение промышленно перспективных высокоуглеродистых рудных образований окажет заметное влияние на разработку технологии извлечения полезных компонентов.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 23-17-00093 (<https://rscf.ru/project/23-17-00093>).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Галимов Э.М.** Геохимия стабильных изотопов углерода. М: Недра, 1968. 226 с.
2. **Кемкин И.В., Ханчук А.И., Кемкина Р.А.** Геохимические особенности кремней Самаркинского террейна (Сихотэ-Алинь) и размеры аккретированной палеоокеанической плиты // Геология и геофизика. 2018. Т. 59. № 2. С. 143-157. <https://doi.org/10.15372/GiG20180201>

3. Молчанов В.П., Ханчук А.И., Андросов Д.В. Минералы золота и платины в позднемезозойском Ариадненском ультрабазит-базитовом массиве (Сихотэ-Алинский орогенный пояс) // Тихоокеанская геология. 2024. Т. 43. № 5. С. 103–118. <https://doi.org/10.30911/0207-4028-2024-43-5-103-118>.

4. Ханчук А.И., Молчанов В.П. Рудоносность позднемезозойского Ариадненского массива ультрабазитов, базитов и гранитоидов (Сихоте-Алинский орогенный пояс) // Тихоокеанская геология. 2023. Т. 42. № 6. С. 5–19. <https://doi.org/10.30911/0207-4028-2023-42-6-5-19>.

5. Hoefs J. Stable Isotope Geochemistry. Berlin: Springer, 2015. 402 p.

6. Luque F., Crespo Feo, E., Barrenechea, J., Ortega L. Carbon isotopes of graphite: Implications on fluid history// Geoscience Frontiers. 2012. N 3. P. 197-207.