

**Карбонатно-щелочные метасоматиты Западного Прибайкалья:
минеральный состав, геохимия, возраст**

© *В. Б. Савельева, Е. П. Базарова, А. В. Иванов*

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия. E-mail: vsavel@crust.irk.ru

Изучены минеральный состав, геохимия и изотопный состав углерода и кислорода карбонатов ураноносных карбонатно-щелочных метасоматитов в Западном Прибайкалье. Субстратом для метасоматитов служили главным образом аляскиты приморского комплекса PR₁. ⁴⁰Ar–³⁹Ar методом по биотиту из доломит-биотитового метасоматита получена датировка 605.5±6.9 млн лет.

Ключевые слова: метасоматоз; альбитизация; рибекитизация; карбонатизация; кричтонит; Западное Прибайкалье.

**Carbonate-alkaline metasomatites of the Western Baikal region:
mineral composition, geochemistry, age**

V. B. Savel'yeva, E. P. Bazarova, A. V. Ivanov

Institute of the Earth's Crust, SB RAS, Irkutsk, Russia. E-mail: vsavel@crust.irk.ru

The mineral composition, geochemistry and isotope composition of carbon and oxygen of carbonates of uranium-bearing carbonate-alkaline metasomatites in the Western Baikal region have been studied. The substratum for metasomatites was mainly alaskites of the primorsky complex PR₁. ⁴⁰Ar–³⁹Ar method by the biotite from the dolomite-biotite metasomatite, a date of 605.5 ± 6.9 Ma was obtained.

Keywords: metasomatism; albitization; riebeckitization; carbonatization; crichtonite; Western Baikal region.

Альбитизация и сопутствующая ей карбонатизация являются важными признаками при поисках гидротермальных урановых месторождений. В пределах Байкальского и Приморского хребтов геологами Сосновской экспедиции выявлены рудопроявления урана в гранитах приморского комплекса PR₁ и метаморфических породах сарминской серии палеопротерозоя. Граниты на многих участках альбитизированы и содержат редкометаллльную (Sn, Be, Ta, Nb, Y и др.) минерализацию. Одно из рудопроявлений урана в южной части Байкальского хребта связано с щелочно-карбонатными метасоматитами.

Южные отроги Байкальского хребта сложены метаморфизованными терригенными и вулканогенными породами иликтинской свиты сарминской серии палеопротерозоя, прорывающими их постколлизийными гранитами приморского комплекса, возраст которых по результатам U–Pb датирования циркона варьирует от 1.93 до 1.86 млн лет и осадочными образованиями байкальской серии верхнего рифея. Породы иликтинской свиты и граниты интродуцированы дайками габбро-диабазов с возрастом в интервале 800–700 млн лет [4] и небольшими телами перидотитов.

Район рудопроявления сложен биотит-хлорит-эпидотовыми, хлорит-серицитовыми сланцами, полевошпато-кварцевыми метапесчаниками, метагравелитами, метаэффузивами основного и среднего состава, которые прорываются аляскитовыми гранитами приморского комплекса. Метасоматоз проявлен в зоне разлома северо-западного простирания, в полосе шириной 50–70 м и протяженностью около 200 м. Субстратом для метасоматитов послужили главным образом аляскиты апикальной части малоглубинного штока, в меньшей мере хлорит-биотит-серицитовые сланцы и метаморфизованные в условиях зеленосланцевой фации андезито-базальты. В сланцах и метавулканитах проявлены карбонатизация, эпидотизация, окварцевание. Среди метасоматитов обнаружены обломки лампрофиров и карбонатитов. Последние более широко распространены к северо-востоку от рудопроявления, где по ним были получены изотопные датировки около 1.0 млрд лет [2].

Нами выделяются два основных типа новообразованных минеральных ассоциаций и, соответственно, два типа метасоматитов: альбит-рибекит-кальцитовые и доломит-биотитовые. Альбитизированные и рибекитизированные аляскиты представляют собой массивные среднезернистые до крупнозернистых, часто неравномернозернистые, породы с катакластической структурой, сложенные преимущественно шахматным альбитом (до 75–80%), в промежутках между которым сохраняются кварц, калиевый полевой шпат и серицитизированный плагиоклаз ранней генерации. Темноцветные минералы представлены игольчатой Fe–Mg слюдой и щелочным амфиболом, приуроченными к зонкам катаклаза и границам зерен лейкократовых минералов. Слюда ассоциируется с кальцитом, а щелочной амфибол по отношению к ним более поздний минерал. В доломитизированных породах про-

явлена альбитизация, но умеренная, калиевый полевой шпат сохраняется. Доломит развивается по зонкам катаклаза, а в милонитизированных породах послойно, с замещением кварца и полевых шпатов и образованием мелкозернистых доломитовых прожилков, обычно с оторочками биотита. Наблюдаются наложение доломит-биотитовой ассоциации на альбит-рибекитовую и слабая хлоритизация биотита. Поздние гидротермально-метасоматические образования представлены кварцевыми и кварц-карбонатными жилами мощностью до 0.2 м.

Анализы химического и редкоэлементного состава пород и ^{40}Ar - ^{39}Ar датирование минералов выполнены в Центре коллективного пользования ИЗК СО РАН «Геодинамика и геохронология». Анализы минералов выполнены в ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ, на электронном сканирующем микроскопе «LEO-1430VP» (Carl Zeiss International) с энергодисперсионным анализатором «INCAEnergy 350» (Oxford Instruments Analytical Ltd.) и в ИГМ СО РАН, г. Новосибирск, на электронном сканирующем микроскопе MIRA 3 LMU (Tescan Ltd) с системой микроанализа INCA Energy 450+ (Oxford Instruments Ltd). Изотопный состав С и О изучался в ИГМ СО РАН (г. Новосибирск) и ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ).

Плагиоклаз в метасоматитах представлен почти чистым альбитом, амфибол главным образом магнезио-рибекитом, слюда флогопитом и магнезиальным биотитом ($X_{\text{Mg}}=0.53-0.73$, TiO_2 до 2.8 мас.%), хлорит пикнохлоритом. В кальците на CaCO_3 приходится 95–98 мол.%, содержание SrO 0.25–0.84 мас. %. В доломите из катаклазированных аляскитов на $\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$ приходится 14–25 мол.%, а в доломите из мелкозернистых метасоматических прожилков 22–48 мол.%. Акцессорными минералами являются титаномагнетит, магнетит, ильменит, минералы группы кричтонита, рутил, борнит, ярроуит, ковеллин, халькоцит, халькопирит, виттихенит, молибденит, галенит, циркон, ферриалланит-(Ce), алланит-(Ce), Sr-эпидот, церит-(Ce), фторапатит, монацит-(Ce), ксенотим-(Y), бастнезит-(Ce), титанит, барит, баритоцелестин, торит. По данным геологоразведочных работ, У-минерализация представлена гидратированным настураном. Нами настуран не обнаружен. Концентраторами U являются минералы группы кричтонита (количество UO_2 в анализах 2.5–8.9 мас. %), циркон (до 1.1 мас. % UO_2) и торит (1.4–4.6 мас. % UO_2).

Граниты, претерпевшие метасоматоз, содержат от 1.5 до 11 мас. % CO_2 . Содержание SiO_2 снижается с ростом CO_2 . На диаграмме TAS метасоматиты попадают главным образом в поля субщелочных пород. Для альбит-рибекит-кальцитовых метасоматитов характерны высокие содержания Na_2O (5.9–7.4 мас. %) и низкие K_2O (≤ 1 мас. %). В доломит-биотитовых метасоматитах содержания Na_2O и K_2O сильно варьируют, но в большинстве проб отношение $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ равно 0.2–1.1. По сравнению с гранитами в метасоматитах значительно выше содержания CaO , Fe_2O_3 , MgO , FeO , а также TiO_2 , MnO и P_2O_5 . Формирование альбит-рибекит-кальцитовых метасоматитов является результатом Na-Ca-Mg-Fe-CO_2 метасоматоза, а доломит-биотитовых метасоматитов результатом Ca-Mg-Fe-CO_2 метасоматоза при повышенной активности калия, что может быть обусловлено накоплением K во флюиде в процессе альбитизации калиевого полевого шпата. Особенности метасоматитов являются их обогащенность V, Sr, S, Ba, Zr. В отдельных пробах количество Zr более 1 мас. %. Кроме того, в метасоматитах повышены содержания Co, Ni, Sc, Cu, Zn, Nb. Отдельные пробы содержат до 22 г/т Mo, до 19 г/т W, в кварц-карбонатных жилах присутствует Bi до 20 г/т, As в количестве 60–110 г/т, Pb до 470 г/т, Cu до 320 г/т.

Граниты приморского комплекса за пределами рудопроявления характеризуются повышенным содержанием U: в гранитах первой фазы 3–16 г/т, в гранитах 2 фазы 9–23 г/т. В метасоматически измененных аляскитах концентрации U сильно варьируют, составляя от менее 3 г/т до 29 г/т. В прожилках доломита содержится до 40 г/т U ($\text{Th}/\text{U}=0.8$), а в кварц карбонатных жилах до 58 г/т. Наиболее высокие концентрации U — до 97 г/т при среднем содержании 52 г/т и отношении $\text{Th}/\text{U}=1.2-2.7$ — установлены в карбонатизированных биотитовых сланцах. Уран в метасоматитах имеет положительную корреляцию (>0.50) с Ti, Ca, Mg, Fe^{2+} , CO_2 , Nb, Co, W, Zn, S и более слабую корреляцию (0.50–0.35) с P, Cl, Ni, Sc, Sr, Pb, однако с Th уран имеет слабую отрицательную корреляцию (–0.14). Отсутствует и положительная корреляция U с Zr — элементом, отчетливо привносящимся в метасоматиты, что указывает на разные пути миграции и формы концентрирования этих элементов.

Учитывая данные экспериментальных исследований минеральных парагенезисов, можно оценить нижний температурный предел для альбит-рибекит-кальцитовых метасоматитов значениями 350–400°C, для доломит-биотитовых 300°C. Отсутствие в породах эгирина указывает на умеренно-щелочную среду минералообразования. По составу хлорита из жил для завершающей стадии процесса получены температуры 210–273°C.

^{40}Ar - ^{39}Ar методом по биотиту из доломит-биотитового метасоматита получена датировка 605.5 ± 6.9 млн лет.

Кальцит из метасоматитов имеет значения $\delta^{13}\text{C}$ $-(3.2-3.3)\%$ и $\delta^{18}\text{O}$ от 8.3 до 9.4‰, железистый доломит значения $\delta^{13}\text{C}$ от -1.6 до -1.9% и $\delta^{18}\text{O}$ 10.6–11.1‰. Это позволяет оценить $\delta^{13}\text{C}$ равновесной с кальцитом CO_2 значениями около $-(0.7-0.8)\%$, что указывает на морские карбонаты как вероятный источник углекислоты. В свою очередь, рассчитанные значения $\delta^{18}\text{O}$ в водном флюиде, из которого происходило отложение карбонатов, составляли 5.4–6.4‰, что позволяет предполагать глубинный источник флюида [3].

Формирование карбонатно-щелочных метасоматитов произошло со значительным временным отрывом от времени регионального метаморфизма и внедрения гранитов. Метасоматиты приурочены к долгоживущей зоне повышенной проницаемости глубинного заложения в пределах Байкальского краевого выступа, трассируемой дайками и жилами карбонатитов и лампрофиров с возрастом около 1 млрд лет [2] и габбро-диабазов с возрастом около 700–800 млн лет [4]. Можно полагать, что карбонатно-щелочной метасоматоз связан с процессами на южной (в современных координатах) границе Сибирского кратона и Палео-Азиатского океана. Данные по изотопному составу O и C в карбонатах позволяют предполагать глубинный источник флюида при участии углекислоты морских карбонатов. В пользу глубинного источника флюида свидетельствуют также его повышенная щелочность и принос в метасоматиты Ti, Zr, Nb, Sr, P, характерных для щелочных магм и карбонатитов. Положительная корреляция U с CO_2 в метасоматитах согласуется с представлениями об основной форме переноса урана в растворах в виде уранил-карбонатных комплексов [1]. В то же время не исключено участие в переносе U также сульфатных и фторидных комплексов [1], поскольку в породах присутствуют барит, баритоцелестин, сульфиды и фторapatит. Можно предполагать, что воздействие на граниты с высокими концентрациями U эндогенного флюида обуславливало разложение акцессорных минералов-концентраторов U и переход урана в раствор с последующим его переотложением в благоприятных условиях. Положительная корреляция U с Ti указывает на преимущественное концентрирование U в форме титанатов, что подтверждается минералогическим изучением.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 16-05-00320 и 17-05-00819).

Литература

1. Наумов Г. Б. Основы физико-химической модели уранового рудообразования. М.: Атомиздат, 1978. 216 с.
2. Новый карбонатитовый комплекс в Западном Прибайкалье (юг Сибирского кратона): минеральный состав, возраст, геохимия и петрогенезис / В. Б. Савельева [и др.] // Петрология. 2016. Т. 24. № 3. С. 292–324.
3. Фор Г. Основы изотопной геологии. М.: Мир, 1989. 590 с.
4. Эволюция южной части Сибирского кратона в докембрии. Колл. авторов. Ред. Е.В. Складоров. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. 367 с.

Савельева Валентина Борисовна, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института земной коры СО РАН, г. Иркутск.