

Юрецкий В.Н., Петров В.И., Кузнецов Г.Г. и др. Отчет ильменогорского геологосъемочного отряда о результатах геологического доизучения масштаба 1:50000 Ильменогорской площади в Каслинском и Аргаяшском районах, территориях г.г. Кыштым, Карабаш, Миасс, Чебаркуль Челябинской области за 1976–1982 гг. Фонды ИГЗ, 1982, ПГО «Уралгеология», ЧГРЭ.

McDonough W.F., Sun S.S. The composition of the Earth // *Chemical Geology*. 1995. Vol. 120. № 3–4. P. 223–253.

Passchier C.W., Trouw R.A.J. *Microtectonics*. Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag, 1996. 308 pp.

Rudnick R.L., Gao S. Composition of the continental crust // *Treatise on Geochemistry – 3. The Crust*. Elsevier, 2003. P. 1–64.

Н.А. Антонишин

*Институт геологии и геохимии
им. акад. А.Н. Заварицкого УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
n.antonishin@yandex.ru*

**Геохимические особенности гранитоидов Южно-Сарышаганской интрузии
(Западное Прибалхашье, Республика Казахстан)
как инструмент для оценки типа субстрата
(научный руководитель – к.г.-м.н. Г.Ю. Шардакова)**

N.A. Antonishin

*Zavaritsky Institute of Geology and
Geochemistry UB RAS, Yekaterinburg, Russia*

**Geochemical features of granitoids of the South Saryshagan intrusion (Western
Balkhash region, Kazakhstan) as a tool for evaluating of the substrate type**

Abstract. The object of the study, plagiogranitoids of the South Sary Shagan intrusion (Central Kazakhstan), is located within a heterogeneous accretion zone of the Early–Middle Paleozoic age. The analysis of petrogeochemical features indicates their subduction-related genesis and mixed (mantle-crustal) type of the source, which is typical of granitoids productive for porphyry Cu mineralization.

Объектом этой работы являются граниты Южно-Сарышаганской интрузии (ЮСИ) (Республика Казахстан), потенциально продуктивные на медно-порфировое оруденение. Цель исследования – уточнение геодинамического режима формирования интрузии и оценка возможного состава субстрата для выплавления гранитов ЮСИ. Задачей работы было изучение минералого-петрографических особенностей пород ЮСИ и их химического состава. Тип субстрата также оценен с использованием ключевых геохимических диаграмм. Для работы использован каменный материал, данные по полевой документации, полученные во время двух производственных практик на месторождении, материалы геологических отчетов 1957–1984 гг., а также хозяйственных работ, проведенных в 2020–2023 гг. Анализы на петрогенные (РФА) и редкие элементы (ИСП-МС) проводились в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН (г. Екатеринбург). Изучался керн, отобранный с разных глубин из двух скважин (до 300 м), пробуренных в ЮЗ части интрузии.

ЮСИ располагается в Западном Прибалхашье, в 12 км к ЮЗ от пос. Сарышаган и в 2 км к югу от крупного Сарышаганского массива, который вмещает одноименное Cu-порфировое

месторождение, запасы меди которого оценены в 455–570 тыс. т [Изотов и др., 1983ф; Геологическое..., 2000]. В настоящее время оно не разрабатывается. Поэтому перспективный объект, изучаемый нами и приуроченный к ЮСИ, в современной геологической документации также именуется «Сарышаган». Возрастные и изотопные данные для гранитов ЮСИ отсутствуют. Вмещающими являются вулканогенно-осадочные породы, на разных картах обозначенные O_{1-2} и D_{2-3} .

Породы ЮСИ представлены плагиогранодиорит- и плагиогранит-порфирами с фенокристами олигоклаза, кварца и биотита. Матрикс сложен альбитом, кварцем и биотитом; акцессорные минералы включают апатит и циркон; рудные минералы – пирит, халькопирит, титанит, рутил, ильменорутит, молибденит. Плагиоклаз как в базисе, так и фенокристах неравномерно серицитизирован и карбонатизирован; биотит замещается хлоритом, иногда – мусковитом; по-видимому, также имеется вторичный альбит.

По химическому составу минимально измененные породы отвечают гранодиоритам и гранитам (табл.) известково-щелочной серии, это умеренно калиевые, пералюминиевые разновидности, соответствуют I-гранитам. В них нет калиевого полевого шпата, содержание K_2O в большей части проб < 1.8 мас. % при отношении $K_2O/Na_2O = 0.1–0.4$, поэтому породы можно считать «плагиогранитами». Описание петрографии и состава минералов из пород ЮСИ приведены в работах [Прибавкин и др., 2020; Шардакова и др., 2023].

Нормированные на хондрит содержания РЗЭ (сумма 15–40 г/т) в плагиогранитах ЮСИ указывают на слабое фракционирование ЛРЗЭ при $(La/Yb)_n = 3–12$. Содержания микроэлементов в породах (г/т) варьируют в диапазонах: Rb – 10–35, Sr – 80–120, Y – 1.2–5, Nb – 2–3, Zr – 35–80, Ba – 60–120, Th – 2.8–6.

Согласно литературным данным, ЮСИ располагается в контурах Западно-Балхашской ветви Балхаш-Илийского верхнепалеозойского окраинно-континентального вулканоплутонического пояса [Изотов, 1983; Геологическое..., 2000]. По более современным представлениям, геодинамическая картина западного Прибалхашья представляет собой коллаж террейнов, зону стыка аккреционного клина раннепалеозойского возраста, фрагментов активной окраины (девон-пермь) и ряда мелких микроконтинентальных блоков [Дегтярев, 2012 и др.]. Современные датировки пород (как вулканогенных, так и эффузивных) из большинства структур отсутствуют.

Нормализованные на хондрит тренды распределения РЗЭ в гранитах ЮСИ имеют слабый положительный наклон, не имеют аномалии Eu, также на трендах, нормализованных на N-MORB, присутствуют отрицательные аномалии Nb. Все эти черты характерны для магматитов, генерация которых связана с субдукцией [Фролова, Бурикова, 1997]. С другой стороны, позитивные аномалии U, K и Pb типичны для «коровых» производных [Туркина, 2014]. На диаграммах Пирса [Pearce et al., 1984] точки гранитов ЮСИ лежат в поле VAG, на модифицированной диаграмме [Pearce et al., 2021] – внутри и около поля SZLM (субдукционно-модифицированной литосферной мантии), что также говорит о влиянии субдукции на процесс генерации магм (рис. а). Анализ ряда других ключевых соотношений указывает на «смешанные» параметры субстрата (источника?): субдукционный вклад прослеживается по соотно-

Таблица

Средние содержания петрогенных элементов (мас. %) в гранитоидах ЮСИ

№	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ППП	Сумма
1	67.71	0.31	14.76	1.68	2.85	0.05	0.85	1.14	5.11	1.72	0.07	2.05	98.30
2	69.56	0.33	14.46	1.86	2.06	0.06	0.70	1.33	5.62	1.70	0.09	1.60	99.37

Примечание. 1 – гранодиориты (n = 2), 2 – граниты (n = 10).

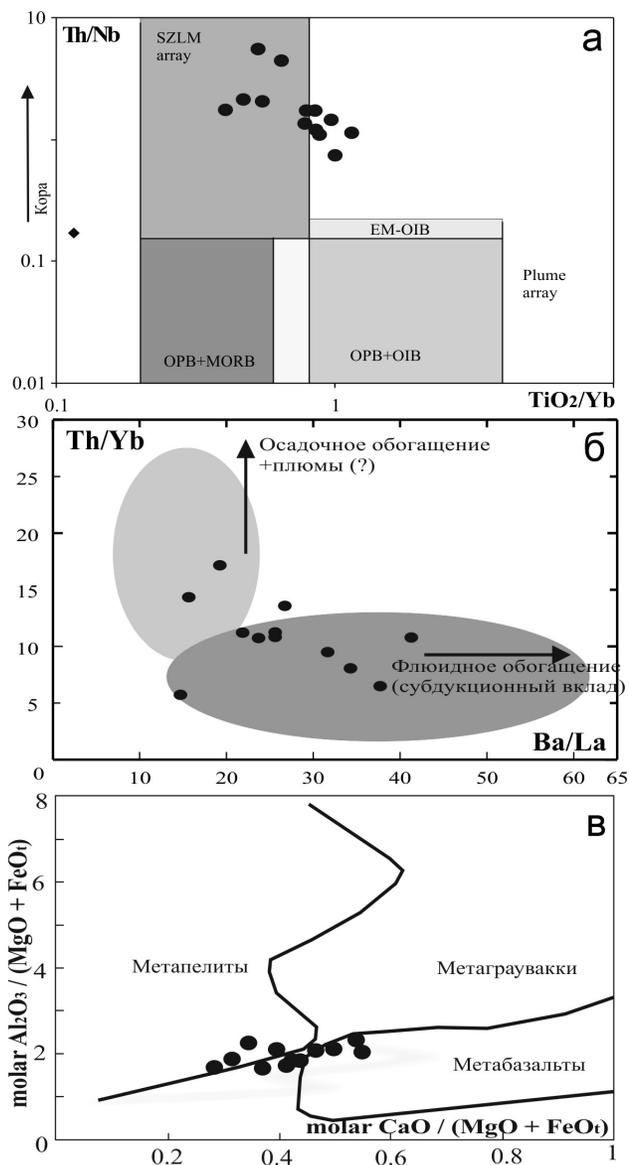


Рис. Диаграммы, позволяющие оценить тип субстрата для выплавления гранитоидов: а – диаграмма Пирса [Pearce et al., 2021]: OPB – океанические платобазальты, MORB – базальты COX, OIB – базальты океанических островов. Поля, фиксирующие вклад этих компонентов в магмогенерацию, отвечают производным астеносферной мантии разного состава: деплетированной (OPB+MORB) и обогащенной (OPB+OIB). Положение точек в поле SZLM указывает на участие в генезисе пород вещества литосферы, модифицированной субдукцией, Plume-аггау – поле плюм-зависимых образований; б – диаграмма Th/Yb–Ba/La [Маргтынов и др., 2010]; в – диаграмма, позволяющая определить вклад в субстрат различных компонентов по расчётным параметрам на основе породообразующих окислов [Altherr et al., 2000]. Черные круги – точки составов гранитоидов ЮСИ.

шениям Ba/Nb-Nb, Ba/Th-Nb, а по параметрам Th/Yb-Ba/La, Ba/Th-Th/Nb – видно некоторое влияние осадочного материала (например, рис. б). По соотношениям Nb-Yb-Th/Yb состав исследованных гранитов близок среднему составу верхней континентальной коры. Косвенно

судить о типе магматического источника позволяет соотношение Y/Nb и величина Y/Nb индекса [Холоднов и др., 2021]. Для магматитов, сгенерированных в обстановке активной окраины, величина Y/Nb лежит в интервале от 1 до 5, что верно и для случая с ЮСИ. Магматиты «островодужного» типа, как правило, имеют более высокие отношения Y/Nb (5–20).

Диаграммы, опирающиеся на некоторые другие расчетные параметры [Sylvester, 1998; Altherr et al., 2000] (рис. в), показывают, что в субстрате для выплавления гранитов ЮСИ могло играть роль совместно вещество базальтоидов и осадочная компонента (метаграувакки, метапелиты). Обзор поведения отношений Nb/U, Zr/Nb и La/Yb [Коваленко и др., 2009] показывает, что точки состава наших плагиогранитов удалены от каких-либо «реперов», располагаясь между ними, что может указывать на смешанный (мантийно-коровый) тип субстрата.

Таким образом, формирование гранитоидов Южно-Сарышаганской интрузии связано с режимом субдукции, а субстрат для их выплавления носил смешанный, мантийно-коровый характер: в нем принимали участие как базиты погружающегося слэба, так и осадочный материал, попавший в зону субдукции. Эти признаки характерны для большинства объектов, вмещающих медно-порфировое оруденение.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИГГ УрО РАН № 123011800009-9.

Литература

- Геологическое строение Казахстана. Алматы: МПР и ООС РК, 2000. 394 с.
- Дегтярев К.Е. Тектоническая эволюция раннепалеозойских островодужных систем и формирование континентальной коры каледонид Казахстана. М.: ГЕОС, 2012. 289 с.
- Изотов В.В., Скрипниченко А.Ф. и др. Отчет по теме «Детальные поисковые работы в пределах Западно-Балхашского синклинория за 1978–1983 гг.». 1983ф.
- Коваленко В.И., Ярмолюк В.В., Ковач В.П., Коваленко Д.В., Козловский А.М., Андреева И.А., Котов А.Б., Сальникова Е.Б. Вариации изотопного состава неодима и канонических отношений содержания несовместимых элементов как отражение смешения источников щелочных гранитоидов и базитов Халдзан-Буретгейского массива и одноименного редкометального месторождения // Петрология. 2009. Т. 17. № 3. С. 249–275.
- Мартынов Ю.А., Ханчук А.И., Кимура Д.И. Геохимия и петрогенезис четвертичных вулканов Курильской островной дуги // Петрология. 2010. Т. 18. № 5. С. 512–535.
- Прибавкин С.В., Коровко А.В., Шардакова Г.Ю., Антонишин А.В. Минералы меди зоны окисления Cu(Mo)-порфирового рудопоявления Сарышаган (Западное Прибалхашье, Центральный Казахстан) // Минералогия. 2020. Т. 6. № 1. С. 58–68.
- Туркина О.М. Лекции по геохимии магматического и метаморфического процессов. Новосибирск: РИЦ НГУ, 2014. 118 с.
- Фролова Т.И., Бурикова И.А. Магматические формации современных геотектонических обстановок. М.: Изд-во МГУ, 1997. 320 с.
- Холоднов В.В., Шардакова Г.Ю., Пучков В.Н., и др. Палеозойский гранитоидный магматизм Урала как отражение этапов геодинамической и геохимической эволюции коллизионного орогена // Геодинамика и тектонофизика. 2021. Т. 12. № 2. С. 225–245.
- Шардакова Г.Ю., Коровко А.В., Антонишин Н.А. Условия образования и преобразования, особенности флюидного режима рудно-магматической системы Южно-Сарышаганской гранитной интрузии (Западное Прибалхашье) // Литосфера. 2023. Т. 23. № 5. С. 717–739.
- Altherr R., Holl A., Hegner E., Langer C., Kreuzer H. High-potassium, calc-alkaline I-type plutonism in the European Variscides: northern Vosges (France) and northern Schwarzwald (Germany) // Lithos. 2000. Vol. 50. P. 51–73.
- Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks // Journal of Petrology. 1984. Vol. 25. P. 956–983.

Pearce J.A., Ernst R.E., Peate D.W., Rogers C. LIP printing: use of immobile element proxies to characterize Large Igneous Provinces in the geologic record // *Lithos*. 2021. Vol. 392–393.

Sylvester P.J. Post-collisional strongly peraluminous granites // *Lithos*. 1998. Vol. 45. P. 29–44.

И.Р. Прокопьев, А.Г. Дорошкевич

Институт геологии и минералогии

им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия

prokop@igm.nsc.ru

Включения в редкометальных карбонатитах массива Средняя Зима (Восточный Саян)

I.R. Prokopyev, A.G. Doroshkevich

Sobolev Institute of Geology and

Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia

Inclusions in rare metal carbonatites of Srednyaya Zima complex (Eastern Sayan)

Abstract. Polycrystalline inclusions in zircon characterize the composition of melts of ore-bearing carbonatites of the Srednyaya Zima complex, Eastern Sayan. According to the study of inclusions, the carbonatite melt had an alkali-silicate-carbonate composition with high Ca, Na, Mg, Fe, CO₂, OH, F, Cl content and higher Sr, Ba, Ti, Al, Si, Nb, U, Ta, and Zr content. The phosphate-carbonate composition of polycrystalline inclusions in pyroxene of the Srednyaya Zima phlogopite rocks indicate that the ore-bearing apatite-calcite-phlogopite rocks probably formed during the interaction of carbonatites with the host silicate rocks. The hydrothermal Ba-Sr-REE mineralization formed from saline carbonate and alkaline (Na) fluids at the minimum mineral formation temperature range of 340–415 °C.

Введение. В неопротерозое на рубеже порядка 650–630 млн лет вдоль южной окраины Сибирского кратона происходило внедрение целого ряда редкометальных щелочно-карбонатитовых комплексов, таких как Белая Зима, Средняя Зима, Большая Тагна, Жидой, Веселое, Пограничное, Арбарастах и Ингили, образование которых связывают с эпохой проявления крупномасштабного внутриплитного магматизма и тектоническими событиями завершающего этапа распада суперконтинента Родиния [Ярмолук и др., 2005].

Щелочно-карбонатитовый массив Средняя Зима входит в состав Зиминского рудного района, расположенного в Восточном Саяне, в бассейне левых притоков р. Зима. Зиминский рудный район представляет собой потенциально промышленный объект на редкие металлы, такие как Ta, Nb, U и REE, а также содержит повышенные концентрации Pb, Zn и P [Пожарицкая, Самойлов, 1972; Фролов и др., 2003]. Большая часть массива Средняя Зима сложена редкометальными карбонатитами. Выделяют несколько разновидностей, сформировавшихся в последовательности: кальцитовые – доломит-кальцитовые – анкеритовые карбонатиты. Пироксениты, мельтейгиты, ийолиты и нефелиновые сиениты на эрозионном срезе присутствуют в подчиненном количестве. Карбонатиты образуют дайки и линейно-вытянутые тела. Также в строении массива участвуют рудоносные на Zr, P и REE апатит-кальцит-флогопитовые породы (метасоматиты), образующиеся на контакте карбонатитов с вмещающими метаморфическими породами (гнейсы, сланцы и др.).

Целью исследования является изучение минерального состава и физико-химических условий формирования рудоносных карбонатитов и метасоматитов массива Средняя Зима.