

Литература

- Алексеев А. А., Ковалев С. Г., Тимофеева Е. А.* Белорецкий метаморфический комплекс. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2009. 210 с.
- Знаменский С. Е., Ковалев С. Г., Сначев В. И., Даниленко С. А., Знаменская Н. М., Рачев П. И.* Платиноносность гипербазитовых массивов Башкирской части зоны Главного Уральского разлома // Познание, освоение и сбережение недр Республики Башкортостан. Уфа: АН РБ, 1994. С. 57.
- Ковалев С. Г., Сначев В. И.* Гипербазитовые массивы Крака (геология, петрология, металлогения). Уфа: УНЦ РАН, 1998. 104 с.
- 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 // Доклады академии наук. 2008. Т. 418. № 2. С. 241–246.
- Разваляев А. В.* Континентальный рифтогенез и его предыстория. М.: Недра, 1988. 191 с.
- Рыкус М. В., Сначев В. И., Бажин Е. А.* Анорогенные граниты западного склона Южного Урала: состав, петрогенезис, минерагения // Нефтегазовое дело. 2011. № 5. С. 282–301.
- Рыкус М. В., Сначев В. И., Сначев А. В.* Золото в дислоцированных углеродистых толщах палеоконтинентального сектора Южного Урала // Геологическая служба и горное дело Башкортостана на рубеже веков. Уфа: Тау, 2000. С. 179–191.
- Савельев Д. Е., Пучков В. Н., Ардисламов Ф. Р., Сначев В. И.* Вулканогенные породы машакской свиты среднего рифея: геология и петрогеохимия // Литосфера. 2009. № 4. С. 3–26.
- Сначев В. И., Пучков В. Н., Савельев Д. Е., Мосейчук В. М., Сначев А. В., Шиянова А. А., Рыкус М. В.* Рудоносность углеродистых отложений северной половины Маярдакского и Ямантауского антиклинориев // Геологический сборник № 6. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2007. С. 227–232.
- Glasmacher U. A., Reynolds P., Alekseev A. A., Puchkov V. N., Taylor K., Gorozhanin V., Walter R.* $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Thermochronology west of the Main Uralian Fault, Southern Urals, Russia // Geologische Rundschau. 1999. 87. P. 515–525.

А. М. Косарев¹, С. А. Светов², С. Ю. Чаженгина², Г. Т. Шафигуллина¹

¹ – *Институт геологии УНЦ РАН, г. Уфа*

amkosarev@mail.ru

² – *Институт геологии КАР НЦ, г. Петрозаводск*

Вариолитовые бониниты бурибайского вулканического комплекса, Южный Урал: химия минералов

В работе исследован химический состав минералов бонинитовых вариолитов (пробы Т-27 и Т-21, Т-42, br₂²) бурибайского палеовулканического комплекса (D₂e₂) с использованием данных [Spadea et al., 1998; 2002; Косарев и др., 2009] и новых данных микросондового анализа, проведенного в химической лаборатории Института геологии Карельского научного центра РАН (г. Петрозаводск).

Бурибайский риолит-базальтовый комплекс (D₁e₂br) знаменует начальный этап формирования фронтальной раннедевонской энсиматической островной дуги в Магнитогорской мегазоне на Южном Урале [Сервакин и др., 1992; Spadea et al., 1998; 2002; Косарев др., 2014]. Комплекс состоит из трех толщ: нижней долерито-базальтовой (br₁), средней пиллоу-базальтовой (br₂) и верхней риодацит-базальтовой (br₃). Бони-

нитовые вариолиты слагают лавовый поток подушечного строения, залегающий в средней части разреза толщи пиллоу-базальтов (br₂) в разрезе р. Таналык, представляющий собой удаленную зону Юбилейного колчеданного рудного поля. По характеру вторичных изменений это периферическая область гидротермальной конвективной ячейки с проявлением окислительного диагенеза. Бонинитовые вариолиты состоят из стекловатых кварц-альбитовых вариолей и существенно хлоритового матрикса. В основной массе вариолитов содержатся скелетные игольчатые выделения тонких длинных лейст клинопироксена («пироксеновый спинифекс»), присутствуют также Cr-шпинель, сфен, замещенные вторичными минералами оливин и ранний пироксен, пироксен микрофенокритов и микролитов, плагиоклаз в метельчатых структурах в слабо девитрифицированном стекле и вариолях. Из вторичных минералов присутствуют гематит, гранат, кварц, актинолит, эпидот, хлорит, пренит, карбонат. В толще также присутствуют пумпеллиит и селадонит.

Среди клинопироксенов бонинитовых вариолитов установлены эндиопсиды, салиты, авгиты и субкальциевые авгиты. Преобладающая направленность эволюции химизма пироксенов – понижение кальциевости и возрастание железистости. Салитовый тренд: салит (Ca_{47.64}Mg_{38.26}Fe_{14.10}) → салит (Ca_{48.78}Mg_{34.46}Fe_{16.77}). Эндиопсид – авгитовый тренд: эндиопсид (Ca_{44.2}Mg_{46.3}Fe_{9.5}) → авгит (Ca₄₄Mg_{39.4}Fe_{16.6}) → (Ca_{40.1}Mg_{48.6}Fe_{11.3}) → авгит (Ca_{37.67}Mg_{52.3}Fe_{10.02}) → авгит (Ca_{30.05}Mg_{51.47}Fe_{18.48}) → субкальциевый авгит (Ca_{24.5}Mg_{36.7}Fe_{38.8}). Приведенные ряды пироксенов являются идеализированными и представлены выборочными составами. На диаграмме Wo–En–Fs выделяется поле салитов и поле эндиопсидов-авгитов-субкальциевых авгитов. В последнем намечаются два тренда: «авгитовый» и «пижонитовый». Последний завершается субкальциевыми авгитами. В пироксенах, установленных в глобулах, наблюдается выраженная зональность, которая проявляется в уменьшении кальциевости и возрастании железистости от ядра к кайме. Эти данные соответствуют установленному эволюционному тренду химизма исследованных пироксенов. В целом, пироксены «среднего» стратиграфического уровня сходны с ассоциацией клинопироксенов, присутствующих в колчеданосных вулканитах надсубдукционного офиолитового комплекса Троодос [Crawford et al., 1989; Vaily et al., 1991].

Хромшпинель представлена богатой Cr разновидностью, в которой содержание Cr₂O₃ варьирует от 54.03 до 60.28 мас. % (Cr# 0.73–0.80, Mg# 0.55–0.56), и по составу относится к алюмохромитам. Минерал образует однородные идиоморфные зерна в глобулах и матриксе размером от 10 до 30 мкм, реже до 150 мкм. Состав хромшпинели близок к таковому шпинелидов из бонинитов и высокомагнезиальных андезитов [Spadea et al., 1998].

Лейкократовые вариоли диаметром до 1 см присутствуют в виде девитрифицированного стекла, иногда с элементами метельчатых структур, или представлены агрегатом микрогранобластового-микрозернистого строения с зернами плагиоклаза (альбита) и кварца. В некоторых случаях на границе лейкократовых вариолей и меланократового хлоритового матрикса располагаются микролиты пироксена. Внутри вариолей присутствуют микрофенокриты и микролиты пироксена, чешуйки хлорита, выделения рудного минерала и гематита. Состав кварц-альбитового агрегата (мас. %): SiO₂ 64.70–74.36, Al₂O₃ 20.58–23.80, MgO 0.06–2.10, CaO 0.20–2.58, Na₂O 6.07–11.37, K₂O 0.04–3.40 [Косарев и др., 2009]. Обособление лейкократовой (вариоли) и меланократовой фаз расплава произошло, вероятно, при участии ликвации исходного магнезиального базальтового расплава [Серавкин, Косарев, 1979].

Гидрогранаты имеют округлую, реже октаэдрическую форму, размер зерен 0.1–0.12 мм, и по составу они близки к андрадитам. Присутствие в составе гранатов воды подтверждается наличием в их рамановском спектре отчетливого асимметричного пика с частотой 3650 см^{-1} , соответствующего колебаниям ОН-групп. Скопление гидрогранатов обнаружено в миндалине кварц-гранат-хлоритового состава, где они образуют цепочку сросшихся округлых выделений во внешней зоне миндалины, часто соприкасаясь с ее краем. Гидрогранаты ксеноморфны по отношению к позднемагматическим микролитам пироксена. Кристофер Мишель-Леви получила андрадит при давлении 500 бар и $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, а Янич синтезировал андрадит под давлением 150 атм. и температуре $480\text{ }^{\circ}\text{C}$ [Дир и др., 1965]. Судя по ассоциации гидрограната во внешней зоне миндалины с халцедоновидным кварцем и хлоритом, можно предполагать, что гранат возник на ранней стадии гидротермального автотематоморфизма при температурах близких к $500\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Хлорит является ведущим минералом зеленокаменноизмененных вулканитов и околурудных метасоматитов колчеданных месторождений Южного Урала. В исследуемых породах хлорит присутствует в основной массе матрикса и в миндалинах, представлен магнезиально-железистой разновидностью, близко стоящей к прохлоритам [Пшеничный и др., 1974]. Колебания главных окислов в хлоритах следующие (мас. %): FeO' 10.47–15.6; MgO 19.8–26.3; Al₂O₃ 11.3–18.2; FeO'/MgO 0.43–0.67.

Сопоставление концентраций Cu и Zn в бонинитовых базальтах, бонинитовых вариолитах и пироксенах из вариолитов показывает пониженные средние валовые содержания ($x_{\text{ср}}$): Cu – 38 г/т (при колебаниях от 4 до 230 г/т) и Zn – 84 г/т (при вариациях от 43 до 130 г/т); в пироксенах из бонинитовых вариолитов Cu – 80.3–144.5 г/т, Zn – 136–191 г/т. Видно, что пироксены являются одним из главных концентраторов Cu и Zn в основных породах подрудной толщи. При разложении пироксенов и замещении их хлоритом и актинолитом концентрации Cu заметно уменьшаются в связи с ее выносом из породы, а Zn сохраняет концентрации близкие к первичным в связи с его более устойчивой связью с хлоритом.

Таким образом, химические составы вулканитов и клинопироксенов бонинитовых вариолитов, присутствие среди них салитов, эндиопсидов, авгитов, субкальциевых авгитов позволяет относить эти породы к типу высококальциевых бонинитов. Выплавление исходных для высококальциевых бонинитов магм происходило в надсубдукционном мантийном клине при высоких концентрациях флюидной фазы, высокой степени плавления мантийного субстрата и высокой температуре. Формирование бонинитов и бонинитовых базальтов фиксирует прогрессивную стадию эволюции поднимающегося мантийного диапира. Постмагматическая стадия включает высокотемпературный автотематоморфизм (гидрогранат, высокотемпературный кварц) – умереннотемпературный автотематоморфизм (хлорит, эпидот, гематит) – гальмиролиз и окислительный диагенез (саладонит) – метаморфизм погружения пренит-пумпеллитовой и эпидот-актинолитовой фаций. Судя по составу хлорита, процессы окислительного диагенеза и метаморфизма погружения выносом железа не сопровождалась. Пониженные концентрации железа являются характерной первично-магматической чертой бонинитовых петрогенетических серий.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы ПРАН-№ 5 и совместного проекта УрО РАН, СО РАН, ДВО РАН и ИГ УНЦ РАН № 12-С-5-1022.

Литература

- Дир У. А., Хауи Р. А., Зусман Дж.* Породообразующие минералы. М.: Мир, 1965. Т. 1. 366 с.
- Косарев А. М., Тесалина С. Г., Минабаева К. Р.* Химический состав магматических и метаморфических минералов бонинитовых вариолитов Бурибайского палеовулканического комплекса // Геологический сборник. 2009. № 8. С. 120–125.
- Косарев А. М., Серавкин И. Б., Холоднов В. В.* Геодинамические и петролого-геохимические аспекты зональности Магнитогорской колчеданосной мегазоны на Южном Урале // Литосфера. 2014. № 2. С. 3–25.
- Пиеничный Г. Н., Середина М. А., Боброва М. С.* Хлориты Юбилейного месторождения и их взаимоотношения с оруденением // В кн.: Минералогия, геохимия, метаморфизм и полезные ископаемые Башкирского Зауралья. Уфа: БФАН СССР, 1974. С. 17–26.
- Серавкин И. Б., Косарев А. М.* О происхождении контрастных и непрерывных серий базальт-липаритовой формации Южного Урала // Доклады АН СССР. Т. 245. № 5. 1979. С. 1210–1214.
- Серавкин И. Б., Косарев А. М., Салихов Д. Н.* Вулканизм Южного Урала. М.: Наука, 1992. 197 с.
- Bailey D. G., Langdon G. S., Malpas J., Robinson P. T.* Ultramafic and related lavas from the Margi area, Troodos ophiolite // Cyprus crystal study project initial report, holes CY-1 and 1a. Geological Survey of Canada. Paper 90–20. 1991. P. 187–202.
- Crawford A. J., Falloon T. J., Green D. H.* Classification petrogenesis and tectonic setting of boninites // In: Crawford A. J. (Ed.). Boninites. London, 1989. P. 2–49.
- Spadea P., Kabanova L., Scarrow J. H.* Petrology, geochemistry and geodynamic significance of Mid-Devonian boninitic rocks from the Baimak-Buribai area (Magnitogorsk zone, Southern Urals) // Ofioliti. 1998. V. 23. № 1. P. 17–36.
- Spadea P., D'Antonio M., Kosarev A., Gorozhanina Y., Brown D.* Arc-continent collision in the Southern Urals: petrogenetic aspects of the forearc–arc Complex // Mountain Building in the Urals: Pangea to the Present. Geophysical Monograph. 2002. V. 132. P. 101–134.

Л. Н. Козарко, Н. А. Мигдисова
Институт геохимии и аналитической химии РАН, г. Москва
migdisova@geokhi.ru

Типизация магматизма островов Зеленого Мыса, Атлантический океан

Нами обработана представительная коллекция образцов, собранных во время комплексной геологической экспедиции Геологического института АН СССР и 9 рейса «Академик Борис Петров» (ГЕОХИ РАН), работавших на островах Зеленого Мыса в течение трех полевых сезонов (1982–1986 гг.) в рамках национального проекта «Литос» программы «Мировой океан». Коллекция первичных магм с островов Сал, Сантьягу, Сан-Висенти, Боавишта, Фогу, Маю и Сан-Николау состоит из 39 образцов, которые были исследованы с помощью рентгенофлюоресцентного, микрозондового и ICP-MS анализов в ГЕОХИ РАН. В работе также использованы обширные современные базы данных GeoRock и PetDB. Выборка по породам Зеленого Мыса из баз данных составила 1100 индивидуальных анализов. Для сравнения образцов и анализов из баз данных отобраны неизменные вулканиты с описанием и результатами химических анализов на все главные петрогенные и редкие (в том числе, редкоземельные) элементы. В нашем исследовании основное внимание сосредоточено