

Литература

Брусницын А.И. Парнокское марганцевое месторождение, Полярный Урал: минералогия, геохимия и генезис руд. СПб: СПбГУ, 2015. 116 с.

Вертушкова Н.С., Сосунова К.А. Изучение вещественного состава и обогатимости карбонатных марганцевых руд Полуночного и Ново-Березовского месторождения. Геологический отчет. Свердловск, 1957ф.

Зыкин Н.Н., Ерохин В.Е. Механизм формирования карбонатных марганцевых руд Парнокского месторождения (Полярный Урал) // Углерод: минералогия, геохимия и космохимия. Сыктывкар: Геопринт, 2003. С. 237–240.

Контарь Е.С., Савельева К.П., Сурганов А.В. и др. Марганцевые месторождения Урала. Екатеринбург, 1999. 120 с.

Рабинович С.Д. Северо-Уральский марганцеворудный бассейн. М.: Недра, 1971. 264 с.

Е.С. Шагалов^{1,2}, В.В. Холоднов¹

¹ – Институт геологии и геохимии
им А.Н. Заварицкого УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
shagalove@mail.ru

² – Уральский государственный
горный университет, г. Екатеринбург, Россия

Модель развития южной части Тагильской дуги и формирования железорудных месторождений в неопротерозое–раннем девоне

E.S. Shagalov^{1,2}, V.V. Kholodnov¹

¹ – Zavaritsky Institute of Geology and
Geochemistry UB RAS, Yekaterinburg, Russia

² – Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia

Model of evolution of the southern part of the Tagil arc and formation of iron deposits in the Neoproterozoic–Early Devonian

Abstract. The first Lu-Hf, Rb-Sr, Sm-Nd and Pb-Pb isotopic data, as well as new U-Pb zircon ages, are presented for igneous rocks of the Tagil syenite block within the Vyva skarn copper-magnetite deposit. The rocks were affected by subduction and mantle fluids, which results in the depletion of almost all trace elements and the enrichment in Ba and Sr. An atypical combination of geological factors favored the formation of rocks: 1) Neoproterozoic crust metasomatized by frequent intrusion of deep mantle magmas; 2) slow opening of the rift/spreading structure preserving the old crustal blocks; 3) relatively slow subsidence along a limited PT path of a moderately old highly tectonized plate and its rupture in “pauses” of subduction, when melts formed at large depths under a low degree of melting of the source. The partial melts from the lower eclogitic crust (with rutile) or the upper mantle at a depth of >30 km can be a source of magma.

На основе новых Lu-Hf, Rb-Sr, Sm-Nd и Pb-Pb изотопных данных, а также U-Pb возраста циркона магматических пород Тагильского сиенитового массива (ТСМ) предложена модель развития южной части Западно-Тагильской зоны Тагильской палеодуги и возможные источники Fe и Cu для месторождений Тагильской группы. В работе рассмотрен период от неопротерозоя до раннего девона, поскольку в этот отрезок времени закладывалась и развивалась рудная система региона.

I. Условно рифтовый этап. Длительное и, возможно, многоактное развитие рифтовой структуры с образованием рифтогенного окраинно-континентального седиментационного бассейна, стратиформных и осадочных железорудных объектов. Магматизм связан с мантийным диапиром (диапирами), способствовавшим образованию ильменит-титаномагнетитовых и хромитовых рудопроявлений и месторождений (Сарановское). Структура продолжала развитие Машакского рифта, а гидротермальная составляющая накладывалась на нижнюю кору, метасоматизированную в позднем рифее. В неопротерозое Кваркушко-Каменногорская структура развивалась как рифтогенная пассивная континентальная окраина, сильно тектонически раздробленная и дренированная различными магмами, часто глубинного мантийного происхождения [Петров, 2017]. Hf- и Nd-модельные возраста источников совпадают и указывают на неопротерозойскую кору, которая заложена на позднеархейско-палеопротерозойском фундаменте. На это также указывает наличие ксеногенных протерозойских (вплоть до архейских) цирконов и гранатов, характерных для эклогитов, в интрузивных и вулканических породах Тагильской мегазоны [Смирнов, Чашухина, 1991; Пучков и др., 2006; Малич и др., 2009; Ферштатер и др., 2009].

II. Срединговый этап. Раскрытие Уральского океана в позднем кембрии сопровождалось интенсивным дроблением метасоматизированной коры на блоки, разделенные новообразованной океанической корой. Современным примером может служить строение дна Атлантического океана. Литосферная мантия под Срединно-Атлантическим хребтом является гетерогенной и состоит из разновозрастных блоков-пластин, материал которых при спрединге выводится на поверхность в виде плутонов и тектонических блоков, не прошедших плавление, возможно, оставшихся после деляминации континентальной коры при раскрытии океана [Бортников и др., 2008; Pilot et al., 1998]. Такие блоки могут быть на десятки и сотни миллионов лет древнее зон магмогенерации срединно-океанических хребтов. Они не подвергаются преобразованию из-за малых скоростей раскрытия зон спрединга [Бортников и др., 2019; Husson et al., 2015]. В это время на дне возможно образование стратиформных месторождений на пассивной окраине (пальничнинская свита в Тагильской мегазоне) и колчеданных проявлений в районе срединно-океанического хребта (выйская свита).

III. Раннеостроводужный этап. Заложение зоны субдукции проходило в позднем ордовике в виде контрастной колчеданосной базальт-риолитовой формации кабанской и Кировградской свит. В это время возможны локальные зоны субдукции между разрозненными блоками-микроплитами континентальной коры (красноуральская свита в Восточно-Тагильской зоне). Кроме островодужных колчеданных месторождений, близко к поверхности выводятся массивы платиноносного пояса с титаномагнетитовой, хромитово-платиноидной и медной минерализацией.

IV. Позднеостроводужный этап связан с образованием именной и туринской свит со субщелочными вулканитами и карбонатными толщами. Поскольку считается, что ширина океана перед тагильской дугой составляла порядка 500–1000 км, в зону субдукции мог быть затянута часть зоны спрединга, и по этой ослабленной зоне мог произойти отрыв части субдуцируемой океанической коры с образованием крупного мантийного окна, в которое начал поступать горячий материал с обогащенными геохимическими характеристиками. Результатом стала генерация магм повышенной щелочности, обогащенных специфическими флюидами.

Фонолитовые магмы могут образовываться в результате низкой степени частичного плавления пород верхней гетерогенной мантии при умеренных давлениях (10–15 кбар) особенно там, где крупные области субконтинентальной литосферной мантии обогащены К в результате метасоматоза. Циркуляция низкоградусных парциальных расплавов перидотитов в верхнюю мантию может быть ответственна за особый вид метасоматоза, характеризующийся Si- и щелочным обогащением [Laporte et al., 2014; Peng et al., 2008].

Переработка ранее образовавшихся концентраций Fe и Cu в совокупности с положительными геолого-геохимическими факторами (интенсивная тектоническая нарушенность, наличие карбонатизированных вулканогенно-осадочных толщ, мощный флюидный поток обогащенный галогенами), были благоприятны для образования крупных месторождений Fe и Cu.

По соотношению $\epsilon\text{Nd}-^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ магматические породы ТСМ лежат на границе полей базальтов океанических островов и островных дуг. Rb-Sr возраст пород составляет 400–413 млн лет, возраст циркона из монцонит-пегматита – 413 млн лет. Первичное отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ составляет 0.703808 и 0.70390: величина ϵNd_{400} варьирует от +6.3 до +4.7. Современные соотношения ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 21.725, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 15.757, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 38.153 – магнетитовые руды Выйского месторождения) близки к источнику HIMU, характерному для некоторых горячих точек [Hart et al., 1986] и некоторых районов Анд [Oliveros et al., 2020]. Пересчет на раннедевонский-силурийско-позднеордовикский диапазон (450–410 млн лет) лежит в поле значений для MORB Уральского палеоокеана [Spadea, d'Antonio, 2006] и показывает близость первичных изотопных значений Pb таковым в породах и рудах Воронцовско-Ауэрбаховского рудно-магматического ареала [Мурзин и др., 2020].

Одним из доказательств наличия внутриплитных обстановок является соотношение параметров (Ce/Yb) η и Ti/Zr в пироксенах [Abe et al., 1998]. Пироксен из монцодиорита ТСМ имеет (La/Yb) η 4.35 и по этому параметру близок клинопироксену из базальтоидов рифта Осло и субщелочных пород вендского рифта Западного Урала [Сазонова и др., 2010], в то время как в породах Тагильской дуги от ранних к поздним вулканитам это отношение возрастает от 0.1–0.2 в толеитовых базальтоидах (O_3) до 1.59 в шошонитах (S_2-D_1) и субщелочных базальтоидах (S_2) [Носова и др., 2002].

Обогащение расплава, из которого кристаллизовались клинопироксены монцодиорита, легкими и средними РЗЭ определялось малыми степенями плавления источника на большой глубине в условиях гранатовой фации, что характерно для континентальных рифтов, в отличие от менее глубинного источника ранних пород Тагильской дуги, который имел повышенную степень плавления и незначительное содержание граната. Увеличение отношения ЛРЗЭ/ТРЗЭ возможно при метасоматическом обогащении ЛРЗЭ мантийного источника в области плавления либо контаминации расплава коровым веществом [Носова и др., 2002; Сазонова и др., 2010].

Спектры распределения микроэлементов и РЗЭ в клинопироксене из монцодиорита ТСМ сходны с распределением в пироксенах из наиболее дифференцированных расплавов, давших потоки трахиандезитбазальтов дворцецкого рифтогенного комплекса и тыловодужных вулканитов туринской свиты. Последние относят к надсубдукционным рифтогенным образованиям, возникающим в условиях «пассивного» рифтинга-растяжения в обстановке конвергенции плит и микроплит, который может иметь место в «паузах» субдукции, когда возникали расплавы, выплавлявшиеся на больших глубинах в условиях малой степени плавления источника [Сазонова и др., 2003].

Литература

Бортников Н.С., Шарков Е.В., Богатиков О.А. и др. Находки молодых и древних цирконов в габброидах Впадины Маркова, Срединно-Атлантический хребет, 5°30.6'–5°32.4' с.ш. (результаты SHRIMP-II U-Pb-датирования): значение для понимания глубинной геодинамики современных океанов // Доклады Академии наук. 2008. Т. 421. № 2. С. 240–248.

Бортников Н.С., Силантьев С.А., и др. U-Pb-датирование, соотношение изотопов кислорода и гафния в цирконе пород внутренних океанических комплексов Срединно-Атлантического хребта: свидетельство взаимодействия молодой и древней кор в зоне спрединга дна океана // Доклады Академии наук. 2019. Т. 489. № 5. С. 483–489.

Малич К.Н., Ефимов А.А., Ронкин Ю.Л. Архейский U–Pb изотопный возраст циркона дунитов нижнетагильского массива (Платиноносный пояс Урала) // Доклады Академии наук. 2009. Т. 427. № 1. С. 101–105.

Мурзин В.В., Викентьев И.В., Азовскова О.Б. и др. Изотопный состав свинца даек и руд и роль магматизма в образовании Воронцовского золоторудного месторождения (Северный Урал) // Литосфера. 2020. Т. 20. № 3. С. 386–396.

Носова А.А., Сазонова Л.В., Наркисова В.В., Симакин С.Г. Элементы-примеси в клинопироксенах из палеозойских вулканитов Тагильской островной дуги Среднего Урала // Геохимия. 2002. № 3. С. 254–268.

Петров Г.А. Геология допалеозойских комплексов средней части Уральского подвижного пояса. Автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора геолого-минералогических наук. Санкт-Петербург, 2017. 38 с.

Пучков В.Н., Розен О.М., Журавлев Д.З., Бибилова Е.И. Контаминация вулканитов силура Тагильской синформы докембрийскими цирконами // Доклады Академии наук. 2006. Т. 411. № 6. С. 794–797.

Сазонова Л.В., Носова А.А., Наркисова В.В. Минералогия и петрология субвулканических пород палеозойской Тагильской островной дуги (Средний Урал) // Вулканология и сейсмология. 2003. № 3. С. 52–74.

Сазонова Л.В., Носова А.А., Петрова Л.Г. Неопротерозойские рифтогенные субщелочные базиты Среднего Урала: геохимическая специфика клинопироксена // Геохимия. 2010. № 3. С. 274–294.

Смирнов В.Н., Чаушхина В.А. Находка ксеногенных гранатов в магматических породах восточной части Тагильской зоны / Ежегодник-1990. Вып. 138. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1991. С. 102–103.

Ферштатер Г.Б., Краснобаев А.А., Беа Ф., и др. Изотопно-геохимические особенности и возраст цирконов из дунитов уральских массивов платиноносного типа, петрогенетические следствия // Петрология. 2009. Т. 17. № 5. С. 539–558.

Abe N., Arai S., Yurimoto H. Geochemical characteristics of the uppermost mantle beneath the Japan island arcs: implications for upper mantle evolution // Physics of the Earth and Planetary Interiors. 1998. Vol. 107. P. 233–248.

Hart S.R., Gerlach D.C., Whiter W.M. A possible new Sr-Nd-Pb mantle array and consequences for mantle mixing // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1986. Vol. 50. P. 1551–1557.

Husson L., Yamato F., Bézous A. Ultraslow, slow, or fast spreading ridges: arm wrestling between mantle convection and far-field tectonics // Earth and Planetary Science Letters. 2015. Vol. 429. P. 205–215.

Laporte D., Lambart S., Schiano P., et al. Experimental derivation of nepheline syenite and phonolite liquids by partial melting of upper mantle peridotites // Earth and Planetary Science Letters. 2014. Vol. 404. P. 319–331.

Oliveros V., Moreno-Yaeger P., Flores L. Igneous rock associations 25. Pre-Pliocene Andean magmatism in Chile // Geoscience Canada. 2020. Vol. 47. № 1–2. P. 65–82.

Peng P., Zhai M.I., Guo J., et al. Petrogenesis of Triassic post-collisional syenite plutons in the Sino-Korean craton: an example from North Korea // Geological Magazine. 2008. Vol. 145. Is. 5. P. 637–647.

Pilot J., Werner C.-D., Haubrich F., Baumann N. Palaeozoic and Proterozoic zircons from the Mid-Atlantic Ridge // Nature. 1998. Vol. 393(6686). P. 676–679.

Spadea P., d'Antonio M. Initiation and evolution of intra-oceanic subduction in the Uralides: geochemical and isotopic constrains from Devonian oceanic rocks of the Southern Urals, Russia // Island Arc. 2006. Vol. 15. P. 7–25.