

*Рудницкий В. Ф., Алешин К. Б., Кузнецов А. Ж., Иванченко В. С.* Строение магнетитовых залежей Евстунинского железорудного месторождения на Среднем Урале // Геология рудных месторождений. 2013. Т. 55. № 6. С. 546–562.

*Сервакин И. Б., Косарев А. М., Пучков В. Н.* Геодинамические условия формирования колчеданных месторождений Магнитогорской мегазоны Южного Урала и критерии для их поисков // Геология рудных месторождений. 2017. Т. 59. № 3. С. 220–237.

*Формозова Л. Н.* Генезис и формационный анализ докембрийских железных руд Северной Швеции // Рудоносные вулканогенно-осадочные формации геосинклиналей. М.: Наука, 1965. С. 7–46 (Тр. ГИН СССР, вып. 141).

*Brunitsyn A. I., Starikova E. V., Zhukov I. G.* Mineralogy of low grade manganese sediments of the Urals: petrological and geological applications // Ore Geology Reviews. 2017. Vol. 85. P. 140–152.

*Herzig P. M., Petersen S., Hannington M. D.* Epithermal-type gold mineralization at Conical Seamount: a shallow submarine volcano south of Lihir Island, Papua New Guinea // in Stanley, C. J. et al. (eds.) Mineral Deposits: Processes to Processing. Rotterdam, Balkema, 1999 P. 527–530.

*Hümmel K.* Die Entstehung eisenreicher Gesteine durch Halmurose // Geol. Rundschau. 1922. Vol. 13. P. 40–81.

*Maslennikov V. V., Ayupova N. R., Herrington R. J., Danyushevskiy L. V., Large R. R.* Ferruginous and manganiferous haloes around massive sulphide deposits of the Urals // Ore Geology Reviews. 2012. Vol. 47. P. 5–41.

*Maslennikov V. V., Maslennikova S. P., Large R. R., Danyushevsky L. V., Herrington R. J., Ayupova N. R., Zaykov V. V., Lein A. Yu., Tseluyko A. S., Melekestseva I. Yu., Tessalina S. G.* Chimneys in Paleozoic massive sulfide mounds of the Urals VMS deposits: mineral and trace element comparison with modern black, grey, white and clear smokers // Ore Geology Reviews. 2017. Vol. 85. P. 64–106.

*Prokin V. A., Buslaev F. P.* Massive copper-zinc sulphide deposits in the Urals // Ore Geology Reviews. 1999. V. 14. P. 1–69.

*Solomon M., Tornos F., Large R. R., Badham J. N. P., Both R. A., Kin Zaw.* Zn-Pb-Cu volcanic-hosted massive sulphide deposits criteria for distinguishing brine pool-type from black smoker-type sulphide deposition // Ore Geology Reviews. 2004. Vol. 25. P. 259–283.

**А. М. Косарев**

*Институт геологии УФИЦ РАН, г. Уфа  
amkosarev@mail.ru*

### **Магнитогорская колчеданоносная мегазона, Южный Урал: геохимическая, металлогеническая и геодинамическая зональность**

Геохимическая зональность островодужных систем и их металлогеническая зональность имеют однонаправленную полярность и связаны с градиентной системой зоны субдукции, при погружении которой происходит возрастание  $P$  и  $T$ , изменение состава субдукционных флюидов и магм, условий выплавления магм в мантийном клине и в зоне перехода мантия – нижние части новообразованной коры, возможности экстракции и концентрации рудогенных элементов в магмах и флюидах разного состава.

Зональность вулканических поясов вкrest простираания Магнитогорской мегазоны на Южном Урале с запада на восток по направлению погружения субдукционной плиты заключается в нарастании в восточном направлении в разрезе позднеэзмско-

раннеэйфельского цикла, калиевости и концентраций элементов КИР в вулканитах базальт-андезитового состава и в кислых породах с одновременным омоложением возраста комплексов. Вместе с нарастанием калиевости обнаруживается смена колчеданных месторождений медного (Cu>Zn) типа на колчеданно-полиметаллическое оруденение. Наличие петролого-геохимической и металлогенической зональности показывает реальность субдукции и ее значение в магмообразовании и рудогенезе.

Геохимическая и металлогеническая зональность Магнитогорской островодужной системы, возникшая в D<sub>1e2</sub>–D<sub>2ef1</sub> время, в позднем эйфеле нарушается Карамалыташской спрединговой зоной, которая расщепила развитую Иреньскую островную дугу. На западе возник фрагмент, включающий ныне зону Главного Уральского разлома (ГУР) и Тубинско-Гайский пояс вместе с Подольским и Восточно-Подольским рудными полями, а на востоке – Джусинско-Нижнезингейский пояс с прилегающей с востока Домбаровской зоной задугового спрединга.

Внутридуговые и задуговые спрединговые бассейны молодого и современного возраста широко распространены в Западно-Тихоокеанском и ряде других регионов, где они являются составной частью островодужных систем. В настоящее время широко известны и палеозоны подобного типа в составе реконструированных древних островных дуг, в частности, на Южном Урале [История..., 1984; Геология..., 1987; Зайков, 1991; Вулканизм..., 1992]. Повышенный интерес к этому типу структур, наряду с дискуссионностью их генезиса, объясняется наличием в их пределах гидротермальных полей с сульфидной минерализацией [Богданов и др., 2006]. Одним из наиболее изученных внутридуговых спрединговых бассейнов с многочисленными гидротермальными полями, содержащими сульфидную (Zn, Ba, Cu, Fe) и оксидную (Fe, Mn) минерализацию, является бассейн Лау. Особенностью рудных проявлений этого бассейна является преобладание Fe, Zn, Cu и Ba-сульфидной минерализации при низких содержаниях Pb и при преобладании Zn над Cu. Большое количество месторождений и рудопоявлений сульфидов открыто в пределах САХ и ВТП в последние десятилетия. Заметное место среди этих рудных объектов занимают сульфидные гидротермальные подводные отложения. Концентрации Zn и Cu в них подвержены широким колебаниям. Редко встречаются высокотемпературные гидротермальные поля, где Cu>Zn, а преобладают зоны среднетемпературные, в которых главенствует Zn. Иногда в существенно Zn объектах в повышенных количествах присутствуют Ba и Pb (поле Лаки Страйк, САХ) [Богданов и др., 2006]. Однако во всех этих случаях концентрации Pb невелики и редко превышают 1%. Совокупность материалов по сульфидным проявлениям в пределах океанов и окраинных морей позволяет предполагать, что руды сульфидного типа с низкими концентрациями свинца и преимущественным составом руд Zn>Cu характерны для спрединговых зон с корой океанического типа.

Наиболее продуктивны на колчеданное оруденение геодинамические зоны, располагавшиеся над зоной субдукции (НЗС). Высокая продуктивность этих зон на колчеданное оруденение коррелирует с преобладающим типом базальтов, относящихся к низкотитанистым островодужным толеитам и бонинитам, большими объемами этих базальтов и кремнекислых пород в составе рудоносных комплексов. По экспериментальным данным и модельным построениям, концентрации в исходных магмах MgO, высокозарядных, крупноионных литофильных и редкоземельных элементов, контролируются объемами флюидной фазы, P<sub>H2O</sub> и степенью плавления мантийного субстрата. Некоторые из геохимических характеристик базальтов, в

частности, концентрации  $TiO_2$ , Zr и значения отношений La/Yb, зависящие от степени плавления мантийного субстрата и  $F_{H_2O}$ , коррелируют с запасами рудного вещества (Cu + Zn в тыс. тонн) в рудных районах Южного Урала [Косарев и др., 2010]. Приведенные данные свидетельствуют о высокой энергоёмкости мантийных диапиров, продуцирующих колчеданное оруденение. Примером надсубдукционных вулканических дуг с колчеданным оруденением может служить фрагмент Идзу-Бонинской островной дуги с восемью рудными объектами протяженностью ~700 км. На севере это холм Миоджин, на юге – гора Кайката [Glasby et al., 2000; Богданов и др., 2006]. Известно также гидротермальное поле в преддуговой области к С-В от Новой Гвинеи [Herzig et al., 1998].

По геохимическим характеристикам практически все кислые породы располагаются в поле вулканических дуг [Pearce et al., 1984], здесь же располагаются точки составов трондьемитов комплекса Литл-Порт [Малпас, 1983]. С учетом особенностей распределения  $Na_2O-K_2O-CaO$  и проявлением трондьемитового тренда в дацит-риодацитовых ассоциациях, можно предполагать частичное плавление амфиболитов нижней коры в качестве одного из главных процессов формирования кислых пород бурибайского, ивановского, суурганско-подольского и карамалыташского комплексов.

Кислые вулканы Баймакского, Мокан-Октябрьского, Гайского и Верхнеуральского районов обнаруживают как трондьемитовый, так и известково-щелочной тренды, что позволяет предполагать участие в формировании кислых расплавов процессов кристаллизационной и флюидной дифференциации и частичного плавления нижней амфиболитизированной коры.

Умеренно-щелочные и известково-щелочные кислые породы сукраковского и джусинского комплексов, обнаруживающие известково-щелочной тренд, формировались как в результате выплавления из новообразованной нижней коры, так и за счет процессов кристаллизационной и флюидной дифференциации тефрит-абсарокитовых расплавов. Высоконатровые породы могли возникнуть на постмагматической стадии в результате альбитизации плагиоклаза и частичного, вплоть до полного, выноса  $K_2O$ . Часть кремнекислых эффузивных пород умеренно-щелочной серии бурибайского палеовулканического комплекса могла возникнуть в связи с процессом ликвации магм высококальциевых бонинитов.

В результате сравнения кислых пород Карамалыташской зоны и Тубинско-Гайского пояса Магнитогорской мегазоны на диаграмме  $Al_2O_3-Yb$  [Арт, 1983] выделены два петролого-геохимических типа кислых пород: 1 – дациты и риодациты с островодужными геохимическими характеристиками Тубинско-Гайского пояса и Подольского месторождения ( $Al_2O_3$  11.5–15.4 %, Yb 0.63–2.4 г/т); 2 – дациты и риодациты с субокеаническими геохимическими параметрами рифтогенно-спрединговой Карамалыташско-Шуулдакской зоны ( $Al_2O_3$  7.5–17.6 %, Yb 1.48–5.24 г/т). Главными причинами образования выделенных типов кислых пород, скорее всего, был различный состав нижней коры – субстрата, из которого выплавлялись кислые магмы. В пределах Тубинско-Гайского пояса кора имела островодужные характеристики, а в рифтогенно-спрединговой Карамалыташско-Шуулдакской зоне кора была близка к океаническому типу. Тип колчеданного оруденения в карамалыташском комплексе  $Zn > Cu$ .

Значительную генетическую информацию по формированию кислых пород несут расплавные и газовой-жидкие включения (например, работы Р. И. Костина, А. С. Бобохова, А. В. Павлова, И. В. Викентьева, В. С. Карпухиной, В. А. Симонова и

др.). Главные выводы, которые можно сделать из материалов перечисленных авто-ров, следующие: 1 – перегретый высокотемпературный характер расплавов во включениях; 2 – обогащенность медью расплавных включений в предрудных кислых породах, превышающая кларк Cu в 3–37, Zn – в 2–34 раз; 3 – обогащенность тех же расплавных включений Ba (536–2200 г/т), Nb (12.6–14.7 г/т), Zr (141–162.8 г/т), Y (60.9–75.8 г/т), В, Ас, Аg. Перегретость расплавов, присутствующих в виде включений в кварце кислых пород, является аргументом в пользу модели образования первичных кремнекислых расплавов на некоторых участках нижней базальтовой коры, вследствие частичного плавления апобазальтовых амфиболитов [Рингвуд, 1981]. Подобные условия могли возникнуть в случае подъема мантийного диапира до границы нижняя кора – верхняя мантия и частичного внедрения апикальной части его, обогащенной флюидной фазой, в нижнюю кору.

*Работа подготовлена при поддержке программы Президиума РАН № 19 «Фундаментальные проблемы геолого-геофизического изучения литосферных процессов».*

*Работа выполнена в соответствии с госзаказом № 0252-2017-0011. Статья публикуется впервые и в другие редакции не передана.*

## Литература

*Арт Дж. Г.* Некоторые элементы-примеси в трондьемитах – их значение для выяснения генезиса магмы и палеотектонических условий // Трондьемиты, дациты и связанные с ними породы. М.: Мир, 1983. С. 99–105.

*Богданов Ю. А., Лисицын А. П., Сагалевич А. М., Гурвич Е. Г.* Гидротермальный рудогенез океанического дна. М.: Наука, 2006. 527 с.

Вулканизм Южного Урала / И. Б. Серавкин, А. М. Косарев, Д. Н. Салихов и др. М.: Наука, 1992. 197 с.

Геология окраинных бассейнов. Вулканические и связанные с ними тектонические процессы в современных и древних окраинных бассейнах: сборник статей / Под ред. Б. П. Кокелара, М. Ф. Хауэлса; перевод с англ. М.: Мир, 1987. 464 с.

*Зайков В. В.* Вулканизм и сульфидные холмы палеоокеанических окраин (на примере колчеданосных зон Урала и Сибири). М.: Наука, 1991. 206 с.

История развития Уральского палеоокеана: монография / Отв. редакторы Л. П. Зоненшайн, В. В. Матвеевков. М.: Ин-т океанологии АН СССР, 1984. 162 с.

*Косарев А. М., Пучков В. Н., Серавкин И. Б.* Колчеданосность Южного Урала: корреляция запасов Cu и Zn с геохимическими характеристиками базальтов рудных районов // Доклады Академии наук. 2010. Т. 434. № 6. С. 1–5.

*Маллас Дж.* Две контрастирующие трондьемитовые ассоциации из перемещенных офиолитов в западном Ньюфаундленде: первое сообщение // Трондьемиты, дациты и связанные с ними породы. М.: Мир, 1983. С. 339–353.

*Рингвуд А. Е.* Состав и петрология мантии Земли. М.: Недра, 1981. 584 с.

*Glasby G. P., Iizasa K., Yuasa M., Usui F.* Submarine hydrothermal mineralization on the Izu-Bonin Arc, South of Japan: An overview // Marine Georesources and Geotechnology. 2000. Vol. 18. P. 141–176.

*Herzig P. M., Petersen S., Hannington M. D.* Geochemistry and sulfur-isotopic composition of the TAG hydrothermal mound, Mid-Atlantic Ridge, 26 N // Proc. ODP. Sci. Results. 1998. Vol. 158. P. 47–70.

*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. № 4. P. 956–983.