

## **Геодинамическая и металлогеническая зональность палеовулканических поясов Магнитогорской мегазоны на Южном Урале**

Согласно геодинамической модели с позиций тектоники плит, главными обстановками формирования колчеданных месторождений на Южном Урале являются: 1 – фронтальные островные дуги над зоной субдукции (НЗС); 2 – тыловые островные дуги НЗС; 3 – задуговые бассейны с субконтинентальной, переходящей в субокеаническую, земной корой и ограниченным влиянием субдукционных флюидов и 4 – внутридуговые спрединговые бассейны с подзонами, расположенными в обстановках различных типов: а) НЗС; б) вне влияния субдукционных флюидов и в) с ограниченным влиянием субдукционных флюидов [Косарев, 2010]. Существенное влияние на состав колчеданных месторождений НЗС оказывает глубинное строение вулканических поясов, принадлежность к энсиматическому или энсиалическому типу островной дуги.

Глубинная субдукционная и надсубдукционная флюидно-магматическая конвективная ячейка продуцировала магмы и флюиды, транспортировавшие к поверхности рудное вещество. Колчеданоносные вулканические комплексы ( $D_1e_2-D_2ef-zv$ ) Магнитогорской мегазоны на Южном Урале сформировались под влиянием зоны субдукции восточного падения и принадлежат энсиматической островной дуге. Модель формирования колчеданоносной формации на ранней мантийной стадии на основании существующих экспериментальных и эмпирических данных, а также модельных построений [Рингвуд, 1981; Bailey et al., 1989] можно представить в следующем виде. Образование мантийного диапира в пределах мантийного клина под воздействием субдукционных флюидов, обогащенных  $H_2O$ , S, Cl, Na, K, Rb, Ba. Формирование флюидов в результате дегидратации водосодержащих минералов подтверждается величиной  $\delta^{18}O$  и присутствием изотопа  $^{10}Be$  в расплавленных включениях островодужных вулканитов. Генерация базальтовых расплавов происходила в условиях декомпрессии при высокой степени частичного плавления мантийного субстрата, а проявления базальтового подводного вулканизма – в условиях режима растяжения. Базальты баймак-бурибайского и карамалыташского вулканических комплексов, наиболее высокопродуктивных на колчеданное оруденение, сформировались в начале нижнедевонско-эйфельского и эйфельско-верхнедевонского вулканических циклов и принадлежат соответственно островодужным толеитовой магнезиальной и бонинитовой (b-br) и толеитовой умеренномагнезиальной (kr) петрогенетическим сериям. Исходные магмы названных комплексов выплавлялись, скорее всего, из деплетированной части мантийного клина [Авдейко и др., 2006; Косарев, 2010].

Колчеданные месторождения, сформировавшиеся в позднеэмско-раннеэйфельское время (Юбилейное, Бурибайское, Гайское, Маканское, Октябрьское и Подольское) относятся к медно-цинковому типу ( $Cu > Zn$ ), а месторождения эйфельживетского цикла (Сибайское, Бакр-узякское, Учалинское, Новоучалинское, Узельгинское, им. XIX Партсъезда, Молодежное, Чебачье, Талганское, Новое, Озерное, Западно-Озерное) характеризуются цинково-медным составом руд ( $Zn > Cu$ ). В обоих

случаях исходные магмы колчеданосных бурибайского и карамалыташского комплексов выплаивались при высоких парциальных давлениях водного флюида, стимулировавшего высокие степени плавления мантийного субстрата. Однако карамалыташский комплекс располагался в НЗС с более глубоко погруженной субдуцирующей плитой, соответствующей области перехода от фронтальной к тыловой островной дуге, что зафиксировано в составе ирендыкской формации и ее возрастных аналогов в Восточно-Магнитогорской зоне. Мантийный диапир, мигрировавший вверх в пределах мантийного клина продуцировал в различной степени деплетированную мантию, тела пироксенитов, верлиты, горнблендиты, участки мантии, обогащенной Na, K и рядом элементов КИР [Рингвуд, 1981]. Магмы и обогащенные Cl и S флюиды экстрагировали рудные элементы и транспортировали их к поверхности.

Анализ характера распределения Cu и Zn среди мантийных пород показывает возможность частичного разделения этих металлов в ходе мантийного петрогенеза. По типу распределения металлов между силикатной, окисной и сульфидной фазами, по данным А. А. Маракушева, медь входит в группу сульфурофильных металлов, Cr – в группу оксифильных, а Zn занимает промежуточную позицию в группе индифферентных металлов. Среди мантийных пород, выведенных геологическими процессами на современную поверхность Земли, по характеру распределения Cu и Zn, намечается несколько групп, охарактеризованных в публикациях (табл.).

Группа пород I ультрабазитового состава, включающая лерцолиты, гарцбургиты и дуниты, по уменьшающимся концентрациям (в этом ряду) CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Li, Sr, R3Э, Cu, Zn, V и по возрастающим количествам MgO, Cr, Ni, фиксирует тренд деплетирования ультрабазитов, слагающих верхнюю мантию [Магматические..., 1988].

Группа пород II, включающая пироксениты, гранатовые пироксениты, горнблендиты и базиты с амфиболом и гранатом, содержит мантийные магматические породы

Т а б л и ц а

**Содержания меди и цинка в мантийных породах**

Типы пород	Концентрации Cu и Zn	Название породы	Интервал содержания (в г/т)		Литературный источник
			Cu	Zn	
I. Ультрабазиты	Низкие Cu и Zn	Лерцолиты	11–74	22–55	Сначев и др., 2001; Ковалев, Салихов, 2000
		Гарцбургиты	2–39	22–76	
		Дуниты	3.5–19	16–38	
II. Ультраосновные и основные породы	Повышенные Cu, пониженные Zn Cu > Zn	Пироксениты	4–180	23–76	Сначев и др., 2001; Пушкарев, 2000; Пушкарев и др., 2010; Магматические..., 1988
		Гранатовые пироксениты	74–250	23–80	
		Горнблендиты	120–450	6–12	
		Базиты с амфиболом и гранатом	53–378	64–170	
III. Метаморфические и магматические	Низкие Cu, повышенные Zn Zn > Cu	Эклогиты	32–135	27–235	Ковалев, Салихов, 2000; Салихов, Беликова, 2008; из коллекций А. А. Алексева, С. Г. Ковалева, Е. А. Тимофеевой
		Глаукофановые сланцы	20–26	62–170	
		Хромиты в пироксенитах	8–45	215–2350	
		Хромиты в дунитах и гарцбургитах	20–340	140–720	

и разновидности, подверженные высокобарическому метаморфизму [Пушкарев и др., 2010]. В этих породах обнаруживается накопление Cu относительно Zn. Некоторые типы пород, к примеру, горнблендиты, генетически связываются с формированием поднимающегося мантийного диапира [Melson et al., 1972; Магматические..., 1988]. Подобные породы известны в составе магматических комплексов платиноносного пояса Урала [Пушкарев, 2000]. Структурная зона с медно-цинковой специализацией колчеданных месторождений может соответствовать фронтальной островной дуге Магнитогорской мегазоны [Косарев, 2010].

В группу пород III с низкими содержаниями Cu и повышенными Zn входят метаморфические и магматические мантийные породы, продуцируемые процессами субдукции. Главные из них – эклогиты, глаукофановые сланцы, вкрапленные хромиты в пироксенитах, дунитах и гарцбургитах. Металлогеническая Учалино-Сибайская зона с колчеданными месторождениями с Zn>Cu спецификой могла возникнуть в переходной от фронтальной к тыловой и в тыловой островодужной зоне. Для этой зоны, по модели разработанной для Курило-Камчатской островодужной системы [Авдейко и др., 2006], можно предполагать нижний уровень дегидратации водосодержащих минералов, в ассоциацию которых входят тремолит, хлорит, серпентин, тальк и форстерит. В этой же зоне могла происходить экстракция рудного вещества Zn>Cu из эклогитов и пироксенитов с хромитовой минерализацией. Таким образом, можно предположить, что «цинковая» специфика определялась не только соотношениями объемов базальты–риолиты в рудовмещающей вулканогенной формации, но и составом и геохимической специализацией мантийных пород. Следует также отметить, что базальты карамалыташского комплекса Сибайского рудного района относятся к типу низкохромистых базальтов островодужной толеитовой серии. Именно такой тип базальтов в некоторых фрагментах островных дуг Казахстана ассоциируется с хромитовым оруденением в рстит-кумулятивных ультрамафитах этого района [Степанец, Креммер, 2003].

Многочисленная группа средних и мелких по запасам руд месторождений, расположенных в Восточно-Магнитогорской подзоне, относится к двум типам. Первый тип – медные месторождения (Осеннее, Летнее), залегающие в киембаевской базальтовой формации зоны задугового (D<sub>1e2</sub>) спрединга. Вторая группа колчеданных Zn-Cu с золото-полиметаллическим уклоном месторождений локализована в толщах тыловодужного Джусинского комплекса – возрастного аналога иренддыкской свиты (месторождения Барсучий Лог и Джусинское) и в александринском вулканическом комплексе – аналоге карамалыташской свиты (Александринское месторождение). Особенности их состава и умеренные объемы запасов руд связаны с их приуроченностью к тыловодужным зонам НЗС с ограниченными объемами водных флюидов в зоне магмообразования [Косарев, 2010]. К этому же типу относятся и месторождения Баймакского района, приуроченные к блоку с большими объемами кислых интрузивных пород и вулканогенных пород в составе известково-щелочной непрерывной формации верхнеэмского возраста. По простиранию с севера на юг в пределах Тубинско-Гайской зоны от месторождений Баймакского рудного района с Zn-Cu-золото-полиметаллической спецификой руд к Макан-Октябрьскому рудному полю, где Cu>Zn, и далее к суперкрупному Гайскому месторождению, имеющему Cu>Zn специфику, укрупняются размеры вулканических структур, а в составе рудовмещающих формаций нарастает количество базальтов толеитовой островодужной серии. В Гайском рудном поле возможно совмещение толеитовой, бонинитовой и известково-щелочной серий.

Масштаб и тип оруденения колчеданной формации на Южном Урале определяется геодинамической позицией металлогенических зон и рудных полей. Наибольшую продуктивность на колчеданное оруденение с  $\text{Cu} > \text{Zn}$  в рудах обнаруживает фронтальная островная дуга позднеэмско-раннеэфельского возраста, сложенная бурибайским, верхнетаналыкским и ирендыкским вулканическими комплексами.

Карамалыташский вулканический комплекс является наиболее высокопродуктивным на колчеданные руды с  $\text{Zn} > \text{Cu}$ . Он располагается в области НЗС, в спрединговом бассейне в зоне расщепления Палеоирендыкской островной дуги. Положение этого комплекса соответствует зоне перехода от фронтальной к тыловой островной дуге. Мелкие и средние колчеданные месторождения с полиметаллическим уклоном локализованы в тыловой, наиболее глубокопогруженной части НЗС, где объем субдукционных флюидов был не столь велик, как во фронтальной и переходной зонах. Наличие корреляции между редкими и РЗЭ элементами в базальтах и объемами рудного вещества в рудных районах свидетельствует о существенном вкладе в рудогенез мантийных источников [Косарев, 2010].

Проявления металлогенической зональности в надсубдукционных зонах известны в большинстве окраинно-континентальных и островодужных систем и имеют устойчивый фундаментальный характер. Смена вулканических поясов на Южном Урале с колчеданными месторождениями  $\text{Co-Cu} \rightarrow \text{Cu-Zn} \rightarrow \text{Zn-Cu} \rightarrow \text{Zn-Cu-Au-Ba-Pb}$  имеет тот же общемировой закономерный характер и связана с процессом палеосубдукции в палеозое Южного Урала.

*Работа выполнена при финансовой поддержке программы «Поволжье», РФФИ (11-05-97008), программы № 27 П РАН, совместного проекта УрО РАН, СО РАН, ДВО РАН и ИГ УНЦ РАН № 12-С-5-1022.*

## Литература

- Авдейко Г. П., Палуева А. А., Хлебородова О. А. Геодинамические условия вулканизма и магнообразования Курило-Камчатской островодужной системы // Петрология. 2006. Т. 14. № 3. С. 248–265.
- Косарев А. М. Геохимические особенности вулканогенных формаций Южного Урала и их продуктивность на колчеданное оруденение // Литосфера. 2010. № 3. С. 177–184.
- Магматические горные породы. Т. 5: Ультраосновные породы / Под ред. О. А. Богатикова. М.: Наука, 1988. 508 с.
- Пушкарев Е. В. Петрология Уктусского дунит-клинопироксенит-габбрового массива (Средний Урал). Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 296 с.
- Пушкарев Е. В., Рязанцев А. В., Третьяков А. А. и др. Гранатовые ультрамафиты и мафиты в зоне главного уральского разлома на Южном Урале: петрология, возраст и проблема образования // Литосфера. 2010. № 5. С. 101–133.
- Рингвуд А. Е. Состав и петрология мантии Земли. М.: Недра, 1981. 584 с.
- Салихов Д. Н., Беликова Г. И. К проблеме систематизации хромитовых руд Учалинского рудного района // Геологический сборник. № 7. Юбилейный выпуск ИГ УНЦ РАН. Уфа: Дизайн Полиграф Сервис, 2008. С. 135–143.
- Сначев В. И., Савельев Д. Е., Рыкус М. В. Петрогеохимические особенности пород и руд габбро-гипербазитовых массивов Крака. Уфа, 2001. 212 с.
- Степанец В. Г., Креммер А. Г. Магматизм Шакшанского задугового спредингового бассейна каледонид северо-востока Центрального Казахстана // Вулканизм и геодинамика: Материалы II Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2003. С. 321–326.
- Bailey J. C., Frolova T. I., Burikova I. A. Mineralogy, geochemistry and petrogenesis of Kurile island-arc basalts // Contribution to Mineralogy and Petrology. 1989. Vol. 102. P. 265–280.