

Ножкин А. Д., Туркина О. М., Баянова Т. Б. и др. Неопротерозойский рифтогенный и внутриплитный магматизм Енисейского кряжа как индикатор процессов распада Родинии // Геология и геофизика, 2008. № 7. С. 666–689.

Сазонов А. М., Романовский А. Э., Шведов Г. И., Леонтьев С. И., Звягина Е. А. Ведугинское золото-сульфидное месторождение (Енисейский кряж) // Руды и металлы, 1994. С. 86–97.

Сазонов А. М. Геохимия золота в метаморфических толщах. Томск, 1998. 176 с.

Томиленко А. А., Гибшер Н. А., Травин А. В.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  возраст серицитов из золотоносных и безрудных кварцево-жильных зон Советского месторождения, Енисейский кряж, Россия // Материалы III Российской конференции по изотопной геохронологии «Изотопное датирование процессов рудообразования, магматизма, осадконакопления и метаморфизма». М.: ГЕОС, 2006. С. 345–349.

Чугуев А. В., Белоусов А. Н., Чернышев И. В. Изотопный состав Sr и эволюция источника гидротермальных растворов (на примере золоторудного месторождения Ведуга, Енисейский кряж) // ДАН, 2001. Т. 377. № 5. С. 680–683.

**И. Г. Третьякова<sup>1</sup>, А. С. Борисенко<sup>1,2</sup>, В. И. Лебедев<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> – Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск  
itret@igm.nsc.ru

<sup>2</sup> – Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск

<sup>3</sup> – Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН,  
г. Кызыл

### **Гидротермальное кобальтовое оруденение АССО: возраст и связь с магматизмом**

Одним из типичных примеров связи гидротермального оруденения с базитовым магматизмом являются кобальтовые месторождения [Крутов, 1959; Лебедев, 1971; 1998; Борисенко и др., 1984 и др.]. Они представляют собой гетерогенную группу объектов, среди которых принято выделять три главных формационных типа гидротермальных кобальтовых месторождений: Ni-Co-арсенидная (Ni-Co-As), Co-сульфоарсенидная (Co-As) и Cu-Co-сульфоарсенидная-сульфосольная (Cu-Co-As). Выделенные типы кобальтового оруденения в конкретных рудных районах могут быть проявлены самостоятельно, обособленно от других типов кобальтовой минерализации, что особенно характерно для Ni-Co-As месторождений (Кобальт-Гоуганда, Эко-Бей, Эльдорадо в Канаде, Конгсберг в Норвегии, Актеле на Тянь-Шане и др.), так и пространственно совмещены в контурах конкретных рудных узлов. Последнее весьма характерно для кобальтоносных рудных узлов Алтае-Саянской складчатой области (Хову-Аксинский, Юстыдский, Абаканский, Владимировский и многие другие). Для таких рудных узлов свойственна сходная единопоследовательность формирования разных типов кобальтового оруденения, выражающаяся следующим образом: Co-сульфоарсенидное оруденение в роговиках и скарнах → Ni-Co-As в карбонатных жилах → Cu-Co-As сульфосольно-сульфоарсенидное → Cu-Pb-Zn кобальтсодержащее. В наиболее крупных рудных узлах (Хову-Аксинский, Юс-

тыдский) проявлены все типы кобальтового оруденения, в более мелких развиты, как правило, один или два типа.

Анализ пространственно-временных соотношений этих типов оруденения на месторождениях Алтае-Саянской складчатой области показал, что Co-As, Ni-Co-As и Cu-Co-As являются разноэтапными образованиями и минеральные ассоциации разных этапов часто разделены по времени формирования внедрением даек диабазов, долеритов, сиенит-порфиоров [Лебедев, 1998; Борисенко и др., 1984].

Для наиболее крупных кобальтоносных рудных узлов Алтае-Саянской кобальтоносной провинции (Юстыдский, Хову-Аксинский и Абаканский) были проведены изотопно-геохронологические исследования (U-Pb, SHRIMP и Ar-Ar методы) с целью выяснения хронологической последовательности развития рудно-метасоматических и магматических процессов и их временной корреляции. Наиболее детально в этом отношении удалось изучить Юстыдский рудный узел на ЮВ Алтая, где установлена следующая последовательность развития эндогенных процессов:

1. Караюкский гранитоидный комплекс (дайки и силлы) – D<sub>3</sub>-C<sub>1</sub> (непосредственно предшествует внедрению интрузий гранитов юстыдского комплекса [Говердовский, 2004]);

2. Юстыдский гранитоидный комплекс – 355.7±8.6 млн лет (циркон, U-Pb метод);

3. Sn-W-грейзеновое оруденение (касситерит, вольфрамит, Ni-арсенопирит, флюорит, турмалин) – 352±6 млн лет (мусковит, Ar-Ar метод);

4. Дайки долеритов син- и постгранитные – C<sub>1</sub> (прорывают эндоконтактовую зону гранитов юстыдского комплекса и перекрывают контактово-метасоматические изменения в экзоконтакте юстыдских гранитов);

5. Cu-Co-W оруденение (кобальтин, пирротин, халькопирит, пирит, шеелит) – 349.8±3.9 млн лет (биотит, Ar-Ar метод);

6. Ni-Co-As оруденение в сидеритовых жилах, секущих Cu-Co-W руды;

7. Cu-Co-As-сульфосольно-сульфоарсенидное оруденение.

Эти данные свидетельствуют о сближенности проявления в Юстыдском рудном узле процессов гранитоидного и базитового магматизма и кобальтового оруденения. Это согласовывается с установленными фактами, свидетельствующими об одновременности формирования гранитоидных интрузий и даек долеритов. Так, на Толбонурском месторождении дайки долеритов пересекают ороговикованные сланцы D<sub>2,3</sub> и эндоконтактовую зону гранитоидной интрузии юстыдского комплекса и прослеживаются в ее центральной части в виде отдельных обособленных фрагментов линзовидной или шарообразной формы, сложенных биотит-амфибол-альбитовым агрегатом. Такие дайки в экзоконтактовой зоне массива содержат вкрапленность бравоита, пирротина и Co-содержащего герсдорфита. Синхронностью проявления гранитоидного и базитового магматизма в Юстыдском рудном узле можно объяснить комплексность оруденения и присутствие в кобальтовых рудах Каракульского месторождения W (шеелита) и повышенных содержаний Sn, характерных для оруденения, связанного с Юстыдскими гранитами, и присутствием Ni-содержащего арсенопирита в Sn-W рудах Юстыдского оловорудного месторождения. С этими же причинами связана зональность размещения разных типов оруденения вокруг гранитоидных массивов: Sn-W-грейзеновое (в гранитах) → Co-As (кобальтин), Cu-Co-W (халькопирит, кобальтин, шеелит) в роговиках и скарнах → Ni-Co-As в карбонатных жилах, Cu-Co-As и Cu-Pb-Zn (±Ni, Co) в сланцах → Cu (халькопирит, теннантит).

Несколько иная последовательность проявления процессов магматизма и рудообразования устанавливается в Абаканском рудном узле в Хакасии:

1. Интрузия граносиенит-порфиоров –  $437.2 \pm 4.4$  млн лет (циркон, U-Pb SHRIMP), скарны;
2. Гидросиликатно-магнетит-гематитовые руды в скарнированных породах;
3. Дайки и силлы долеритов Минусинского прогиба – 406–395 млн лет (Ar-Ar метод);
4. Ni-Co-As оруденение в карбонатных жилах (скуттерудит, герсдорфит, леллингит) –  $409.1 \pm 4.8$  –  $409.2 \pm 4.9$  млн лет (серицит, Ar-Ar метод);
5. Дайки и штоки габбро, диабазов, долеритов –  $D_{2-3}$  (геологический возраст);
6. Зоны прожилково-вкрапленной Cu-Co-As (теннантит, герсдорфит, халькопирит, пирит) минерализации – 376 млн лет (серицит, Ar-Ar метод).

Многоэтапными являются процессы формирования кобальтового оруденения в Хову-Аксинском рудном узле, где также проявлен разновозрастный базитовый и гранитоидный магматизм. Общую последовательность проявления процессов рудообразования и магматизма (по данным В. И. Лебедева [1998], А. С. Борисенко и др. [1984], а также полученным новым изотопно-геохронологическим данным) можно представить в следующем виде:

1. Баянгольский вулcano-плутонический комплекс –  $D_1$ :
  - 1) оливинные лабрадор-битовнитовые базальты, диоритовые порфириды, трахириолиты;
  - 2) дайки, силлы, штоки габбро-норитов, габбро-диабазов, диоритов, сиенитов, гранит-порфиоров;
2. Гранат-пироксен-скаполитовые скарны –  $D_1$ ;
3. Апоскарновые пироксен-пренит-полевошпатовые и кварц-полевошпатовые метасоматиты с Со-пиритом, пирротинном, кобальтином, халькопиритом –  $D_1$  (416–400 млн лет, Ar-Ar метод);
4. Дайки диабазов, долеритов, кварцевых сиенит-порфиоров;
5. Карбонатные жилы с арсенидами и сульфоарсенидами Ni и Со (основной рудный этап) –  $D_3$  (388–370 млн лет, Ar-Ar метод);
6. Cu-Co-As сульфоарсенидно-сульфосольная минерализация – 350–342 млн лет, Ar-Ar метод.

Таким образом, по пространственно-временным соотношениям магматических, гидротермально-метасоматических образований и рудных жил и результатам определения возраста серицита (Ar-Ar метод) в Хову-Аксинском рудном узле выделяются три основных этапа формирования кобальтового оруденения:

– **раннедевонский** – апоскарновые метасоматиты с Со-содержащей полиметаллической минерализацией, связанный с баянгольским вулcano-плутоническим комплексом;

– **позднедевонский арсенидный** (основной рудный этап) – карбонатные жилы с арсенидами Ni и Со, сближенный по времени формирования с дайками долеритов и сиенит-порфиоров торгалыкского комплекса;

– **раннекарбонный** – жилы и зоны с теннантит-герсдорфитовым оруденением.

Эти три рудных этапа формирования Со-оруденения отчетливо проявились на возрастных Ar-Ar спектрах гидротермально измененных пород, развивающихся по скарнам и вмещающих карбонатно-арсенидные жилы.

Полученные результаты, а также анализ данных по соотношению Со оруденения с проявлениями магматизма в других рудных узлах АССО (Владимировском,

Карагемском, Чергакском, Талайлыгском и других) свидетельствуют о тесной пространственной и временной связи кобальтового оруденения с интрузиями габбро-диоритового и габбро-сиенитового состава (чарышский, караюнский на Алтае, торгалыкский в Туве и СЗ Монголии) и дайковыми комплексами долеритов и камптонитов (теректинский на Алтае, дайки долеритов в Юстыдском и Хову-Аксинском рудном узлах).

Такие же пространственно-временные связи кобальтового оруденения с базитовым магматизмом установлены и в других кобальтоносных провинциях мира. В Средней Азии (Тянь-Шань) на основе изотопно-геохронологических исследований определен возраст рудных жил с Ni-Co-Bi-Ag-U (пятиэлементной) минерализацией месторождения Актепе. По данным А. Е. Кабо и др. [1992], возраст уранинита из этих жил составляет  $278 \pm 7$  млн лет (U-Pb метод), а возраст синрудного серицита (данные авторов), определенный Ag-Ag методом – 271 млн лет. Характерно, что самородное серебро этого месторождения отличается высокими содержаниями ртути, кроме того, в рудах присутствует бордозит, содержащий до 27–30 % Hg, и ртутьсодержащая блеклая руда. Близкий возраст сурьмяно-ртутного оруденения Тянь-Шаня по нашим данным также составляет 271 млн лет (Ag-Ag метод). Время формирования предрудных даек диабазов месторождения Актепе, определенное по амфиболу Ag-Ag методом, близко к возрасту рудных жил –  $281 \pm 4.2$  млн лет, что также указывает на временную связь Ni-Co-As оруденения с базитовым магматизмом [Борисенко, 1999].

### Литература

*Борисенко А. С.* Рудообразующие системы низкотемпературных гидротермальных месторождений (типы систем, генетические модели, факторы рудопродуктивности). Автореф. дис. ... докт. наук. Новосибирск: НИЦ ОИГТМ СО РАН, 1999. 97 с.

*Борисенко А. С., Лебедев В. И., Тюлькин В. Г.* Условия образования гидротермальных кобальтовых месторождений. Новосибирск: Наука, 1984. 171 с.

*Говердовский В. А.* Геодинамическая позиция среднепалеозойской базитовой серии Алтая (на примере караюнского и теректинского комплексов) // Геология и геофизика, 2004. Т. 45. № 2. С. 212–221.

*Кабо А. Е., Коваленкер В. А., Русинов В. Л.* Актёпинское рудное поле в Кураминских горах – новое проявление серебро-арсенидного оруденения // Геология рудных месторождений, 1992. С. 34. № 2. С. 67–81.

*Крутов Г. А.* Месторождения кобальта. М.: Госгеолтехиздат, 1959. 232 с.

*Лебедев В. И.* О дайках Хову-Аксинского рудного поля // Материалы по геологии Тувинской АССР. Вып. II. Кызыл: Тувинское кн. изд-во, 1971. С. 74–86.

*Лебедев В. И.* Рудно-магматические системы арсенидно-кобальтовых месторождений. Новосибирск: СО РАН, 1998. 136 с.