

## ЗОНАЛЬНОСТЬ И ПОВЫШЕНИЕ КОМПЛЕКСНОСТИ ОБОГАЩЕНИЯ РУДНОГО СЫРЬЯ УЗЕЛЬГИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Информация, которая содержится в материалах группового опробования рудных тел, используется для отладки технологической схемы переработки рудного сырья. Эта информация часто имеет противоречивый характер, который устраняют с помощью изучения минералогии рудного вещества и минералого-геохимической зональности в контурах рудных тел.

Узельгинское медно-цинковое месторождение является представителем колчеданных залежей уральского типа. Оно локализовано в межвулканической депрессии, выполненной стратифицированными отложениями туфов и вулканомиктовых пород кислого состава. В строении депрессии выделено два рудоносных горизонта, в пределах которых выявлено 65 рудных тел [Петров, Казакова, 1979]. Материалы минералогического и геохимического картирования указывают на то, что в рудах присутствуют два типа зональности. Первый тип — асимметричный, который сформировался в ходе гидротермально-осадочного отложения основной рудной массы. Второй тип — симметричный, который находится в зонах рудоподводящих каналов и подчеркивается поздними минеральными парагенезисами в виде цемента брекчий и прожилков. Наиболее четко асимметричная зональность проявлена в рудных телах верхнего горизонта и более всего затушевана в рудных телах нижнего. Это нашло свое отражение в закономерном распределении концентраций рудообразующих элементов от подошвы к кровле рудных тел (табл. 1). Руды нижнего горизонта грубозернистые брекчиевидного строения, а руды верхнего — тонкозернистые колломорфные и брекчиевые.

В рудах Узельгинского месторождения, по данным Г.Н. Пшеничного [1979], П.Я. Яроша и Ф.П. Буслаева [1988], В.Н. Скуратова и других иссле-

дователей, установлено 58 минералов. Главными минералами являются пирит, пирротин, сфалерит, халькопирит, теннантит, анкерит, барит, кальцит, кварц, магнисидерит, сидерит, серицит, хлориты, мелантерит. Второстепенные минералы представлены арсенопиритом, галенитом, гематитом, магнетитом, марказитом, мельниковитом, ангидритом, манганодоломитом, манганокальцитом железистым, гетитом, гидрогетитом, лейкоксеном, халькантитом и гипсом. Выявлено большое число редко встречающихся минералов. Сюда относятся алтаит, анатаз, борнит, гессит, золото самородное, серебро самородное, колорадоит, креннерит, ильменит, макинавит, молибденит, рутил, сильванит, теллур самородный, теллуrowисмутит, тетрадимит, тетраэдрит, фрейбергит, титаномагнетит, халькозин, малахит, ковеллин, диксит, парагонит, плагиоклазы, пренит, пумпеллиит, флюорит, эпидот, цоизит.

Математическо-статистический анализ рудообразующих компонентов показал, что повышенные концентрации благородных металлов и других элементов-примесей приурочены к рудам с высокими содержаниями меди, цинка и свинца (табл. 2).

В то же время, коэффициенты парной корреляции указывают на то, что зависимость между основными и примесными элементами зачастую отсутствует или слабо выражена. Слабовыраженные зависимости были проверены с помощью сплайн-моделей с ограниченными степенями свободы и изменяемым числом аргументов [Скуратов, Хакимов, 1983; Хакимов, 2003]. Сплайн-модели показали, что коэффициенты корреляции изменяются в зависимости от концентрации элементов в рудах. Так, например, при низких содержаниях в рудах цинка и серебра коэффициент их корреляции отрицателен, а при высоких значениях этих элементов — коэффициент корреляции

Таблица 1

### Распределение рудообразующих элементов по рудоносным горизонтам Узельгинского месторождения

| Положение в разрезе | Условные единицы |     |     |     |    |     |     |    |     |    |      |    |     |     |
|---------------------|------------------|-----|-----|-----|----|-----|-----|----|-----|----|------|----|-----|-----|
|                     | S                | Cu  | Zn  | Au  | Ag | Se  | Te  | In | Ge  | Cd | Pb   | Bi | As  | Sb  |
| Верхний горизонт    |                  |     |     |     |    |     |     |    |     |    |      |    |     |     |
| Кровля              | 40               | 1,1 | 2,9 | 2,9 | 43 | 113 | 60  | 14 | 2,3 | 17 | 2170 | 60 | 375 | 335 |
| Центр               | 42               | 1,4 | 1,9 | 2,2 | 28 | 135 | 57  | 4  | 2,3 | 11 | 1300 | 52 | 377 | 281 |
| Подошва             | 32               | 1,7 | 0,9 | 0,9 | 16 | 124 | 73  | 3  | 2,3 | 7  | 670  | 66 | 240 | 208 |
| Нижний горизонт     |                  |     |     |     |    |     |     |    |     |    |      |    |     |     |
| Кровля              | 36               | 1,1 | 4,5 | 2,0 | 56 | 96  | 130 | 30 | 3,0 | 19 | 4580 | 74 | 191 | 207 |
| Центр               | 41               | 1,1 | 4,4 | 2,6 | 39 | 110 | 159 | 3  | 2,6 | 17 | 1840 | 55 | 163 | 135 |
| Подошва             | 33               | 0,9 | 1,0 | 0,9 | 16 | 143 | 107 | 2  | 2,3 | 8  | 407  | 56 | 110 | 90  |

**Примечание:** использованы материалы Межозерной ГРП Уральской геологоразведочной экспедиции МЦМ РФ.

**Средние содержания и корреляционные коэффициенты рудообразующих элементов по выборке из руд Узельгинского колчеданного месторождения (79 проб)**

| Элементы (среднее содержание)        | Ag | Cu  | Zn | S   | Se  | Te | Jn  | Ge  | Cd  | Pb  | As  | Bi  | Sb  |
|--------------------------------------|----|-----|----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Золото (2,35)                        | 40 | -30 | 00 | 12  | -04 | 23 | -06 | 01  | -11 | 23  | 01  | -10 | -05 |
| Серебро (38,3)                       |    | 17  | 00 | -11 | -24 | 23 | 07  | -13 | 09  | 30  | 04  | 16  | 07  |
| Медь (1,8)                           |    |     | 09 | -25 | 28  | 14 | 08  | -09 | 05  | -33 | 16  | 04  | 27  |
| Цинк (2,7)                           |    |     |    | 36  | -46 | 15 | 21  | 00  | 43  | 20  | 12  | -04 | -29 |
| Сера (42,3)                          |    |     |    |     | 19  | 10 | -29 | -32 | 05  | -04 | 19  | 05  | 21  |
| Селен (124)                          |    |     |    |     |     | 30 | 19  | -02 | 05  | 23  | 17  | 11  | -29 |
| Теллур (56)                          |    |     |    |     |     |    | 17  | 26  | -20 | -36 | 02  | 13  | 23  |
| Индий (4,8)                          |    |     |    |     |     |    |     | -18 | 29  | -01 | 26  | 01  | 09  |
| Германий (2,2)                       |    |     |    |     |     |    |     |     | 18  | 15  | 19  | -12 | -14 |
| Кадмий (13,5)                        |    |     |    |     |     |    |     |     |     | 14  | -30 | 00  | 08  |
| Свинец (2130)                        |    |     |    |     |     |    |     |     |     |     | 30  | 16  | 30  |
| Мышьяк (463)                         |    |     |    |     |     |    |     |     |     |     |     | 17  | 38  |
| Висмут (50)                          |    |     |    |     |     |    |     |     |     |     |     |     | -50 |
| Сурьма (280)                         |    |     |    |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |
| Множественный коэффициент корреляции | 81 | 77  | 80 | 69  | 72  | 74 | 74  | 47  | 71  | 86  | 85  | 55  | 85  |

**Примечание:** При  $P = 0,05$  между следующими химическими элементами частные коэффициенты корреляции значимы: золото – серебро, золото – медь, золото – теллур, золото – свинец, серебро – селен, серебро – теллур, серебро – свинец, медь – сера, медь – селен, медь – свинец, медь – сурьма, цинк – сера, цинк – селен, цинк – кадмий, цинк – сурьма, сера – индий, сера – германий, селен – теллур, селен – свинец, селен – сурьма, теллур – германий, теллур – свинец, теллур – сурьма, индий – кадмий, индий – мышьяк, кадмий – мышьяк, свинец – мышьяк, свинец – сурьма, мышьяк – сурьма, висмут – сурьма. Все значения элементов приведены в условных единицах; закон распределения для всех элементов – лог-нормальный.

положительный. На основании проведенных работ была подготовлена технологическая проба богатого медно-цинкового типа, в которой коэффициенты парной корреляции между основными и благородными компонентами были положительными, а на сплайн-моделях зависимости близки к прямо пропорциональным. По схеме селективного обогащения при реагентном режиме, применяемом на обогатительной фабрике Учалинского ГОКа [Учалинская фабрика, 1984], были получены коллективный медно-цинковый концентрат и хвосты флотации. В коллективном концентрате, по сравнению с хвостами коллективной флотации, содержится

меди в 19,20; цинка в 53,0; золота в 2,0 и серебра в 4,5 раза больше. Реагентный режим способствует извлечению из руд в коллективный концентрат 43,6% золота и 62,6% серебра (табл. 3).

Однако если подавляющая масса золота и серебра представлена тонкодисперсной, а серебра изоморфной примесью в пирите, халькопирите и сфалерите, что доказывалось большим числом исследователей, то извлечения благородных металлов должны быть близкопропорциональны выходу коллективного концентрата или степени обогащения коллективного концентрата медью или цинком. В данном же случае пропорции не соблюдаются.

Таблица 3

**Лабораторное изучение распределения основных и благородных металлов на стадии получения коллективного концентрата из медно-цинкового типа руд Узельгинского месторождения**

| Продукт                 | Выход, % | Содержание |         |         |             |              | Извлечение, % |         |         |             |              |
|-------------------------|----------|------------|---------|---------|-------------|--------------|---------------|---------|---------|-------------|--------------|
|                         |          | Медь, %    | Цинк, % | Сера, % | Золото, г/т | Серебро, г/т | Медь, %       | Цинк, % | Сера, % | Золото, г/т | Серебро, г/т |
| Коллективный концентрат | 29,9     | 9,2        | 11,1    | 39,5    | 3,4         | 85,3         | 88,2          | 95,4    | 26,5    | 43,6        | 62,6         |
| Хвосты                  | 72,1     | 0,5        | 0,2     | 42,6    | 1,7         | 19,7         | 11,8          | 4,6     | 73,5    | 56,4        | 37,4         |
| Руда                    | 100,0    | 2,9        | 3,2     | 41,7    | 2,2         | 38,0         | 100,0         | 100,0   | 100,0   | 100,0       | 100,0        |

Это приводит к выводу о том, что в рудах наряду с тонкодисперсным золотом и изоморфным серебром, присутствуют благородные металлы в виде собственных минералов.

Результаты минералогического и геохимического картирования позволили выявить три группы золото- и серебросодержащих минералов. Первая группа минералов содержит незначительные концентрации золота и серебра, которые выявляются пробирными анализами. Вслед за И.Н. Масленицким [1944] и Н.В. Петровской [1973] данный вид золота относится к тонкодисперсным, а серебра — изоморфным примесям. Основными золото- и серебронесущими минералами данной группы являются пирит, сфалерит и халькопирит. Концентрации в них благородных металлов образуют геохимический фон. Вторую группу образуют минералы, в которых концентрации золота и серебра на порядок выше, чем в минералах первой группы. Основными минералами второй группы являются галенит, алтаит, теннантит, теллурувисмутит, теллур самородный. Эти минералы могут содержать до десятых долей процента примеси. Третья группа представлена собственными минеральными формами золота и серебра. В нее входят гессит, самородное золото и серебро, электрум, силванит, креннерит и фрейбергит. Минералы второй и третьей групп наиболее часто встречаются в медно-цинковом типе руд. Как показало минералогическое геохимическое картирование и математическое моделирование, в этом рудном сорте минералы второй и третьей групп содержат до 70 % от всего объема благородных металлов в руде.

В то же время, медно-цинковый рудный сорт содержит повышенные концентрации элементов-примесей свинца, теллура, индия и кадмия, повышающих его экономическую стоимость, и селена, мышьяка и ртути, которые отрицательно сказываются на его стоимости. Исследования П.И. Пирожка [2001] показали, что во избежание выброса в атмосферу селена и ртути в районе обогатительной фабрики, необходимо тщательно соблюдать

технологический режим сушки концентратов. Все перечисленное указывает на необходимость селективного отбора рудных сортов с учетом минералогической и геохимической зональностей, а также отработки реагентного режима пульпы не только на максимальное извлечение меди и цинка, но и максимальное извлечение в медный и цинковый концентраты золота, серебра, индия, кадмия и теллура.

#### *Литература:*

**Масленицкий И.Н.** О некоторых случаях образования дисперсных выделений золота в сульфидах железа // ДАН СССР. 1944. Т. 45. № 9. С. 405–408.

**Петров Г.В., Казакова Н.М.** Геологическое строение Узельгинского медно-цинкового колчеданного месторождения // Геология и генезис рудных месторождений Ю. Урала. Уфа, 1979. С. 54–63.

**Петровская Н.В.** Самородное золото. М.: Наука, 1973. 347 с.

**Пирожок П.И.** Ртуть в рудах и концентратах Учалинского месторождения (Южный Урал) // Геология и перспективы расширения сырьевой базы Башкортостана и сопредельных территорий. Уфа, 2001. Т. 2. С. 44–53.

**Пшеничный Г.Н.** Пирротиновые руды Узельгинского медноколчеданного месторождения их минералогия, строение и некоторые особенности формирования // Минералогия и геохимия сульфидных месторождений и рудоносных комплексов Южного Урала / БФАН СССР. Уфа. 1979. С. 3–7.

**Скуратов В.Н., Хакимов Б.В.** Изучение геохимических особенностей малых элементов колчеданных руд с использованием сплайнов // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Западно-Сибирской плиты и ее складчатого обрамления. Тюмень, 1983, С. 54–55.

**Учалинская фабрика:** Справочник по обогащению руд (обогатительные фабрики) / Гл. ред. О.С. Богданов. Изд. 2. Переработанное и дополненное. М.: Недра, 1984. С. 48–52.

**Хакимов Б.В.** Моделирование корреляционных зависимостей сплайнами на примерах в геологии и экологии. СПб.: Издательский Дом «Нева», 2003. 144 с.

**Ярош П.Я., Буслаев Ф. П.** Структуры руд и история формирования рудных агрегатов Узельгинского месторождения. Свердловск, 1988. 31 с.