

Горно- геологический журнал

научно-технический и производственный журнал



2007. №1 (9)

ISBN 9965-431-42-7

Председателя правления АО “Костанайские минералы”, члена редакционной коллегии “Горно-геологического журнала” Жусупова Каната Куатжановича поздравляем с успешной защитой диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Желаем здоровья, счастья, благополучия, дальнейших творческих успехов.

Редколлегия

Горно-геологический журнал приглашает к сотрудничеству

Горно-геологический журнал, известный в Казахстане, России, Азербайджане, Узбекистане и Китае, имеет широкий круг читателей. Здесь публикуются материалы о поисках, разведке и прогнозированию месторождений полезных ископаемых, комплексных технологиях добычи и переработки минерального сырья, рассматриваются экономические и экологические проблемы в области геологии и горного дела, приводятся информационные сведения о конференциях, совещаниях и т. д. Авторами публикаций являются видные ученые, представители научных центров страны и зарубежья, руководители предприятий, опытные производственники и молодые инженеры.

В настоящее время тираж журнала составляет 500 экземпляров, периодичность - 4 номера в год, годовая цена подписки остается неизменной - 1400 тенге. Журнал распространяется через редакцию.

Если Вы заинтересовались информацией, публикуемой в нашем журнале, можно оформить подписку. Для этого необходимо перечислить на расчетный счет № 9467635 в Житикаринском РКО Костанайского филиала АО “БанкТуранАлем” БИК 192701305 КБе 17 необходимую сумму и прислать в адрес редакции копию платежного поручения с указанием почтового адреса и телефона.

Если у Вас есть материалы или рекламная информация, которую хотели бы увидеть на страницах нашего журнала, пишите нам, звоните или присылайте по электронной почте.

Выписывайте, читайте “Горно-геологический” журнал, и Вы узнаете много интересного и полезного.

Наш адрес: 110700 г. Житикара, Республика Казахстан, Костанайская область, 4 мкрн., д. 5а ТОО “Асбестовое ГРП”

Редакция Горно-геологического журнала

E-mail: nizamid@mail.ru, asbestgrp@mosk.ru.

Контактные телефоны: 8 (314 35) 2-22-72; 2-35-60. Факс 8 (314 35) 2-22-72.



Главный редактор

Н. Н. Джафаров, доктор геолого-минералогических наук, академик НИА РК и МИА

Зам. главного редактора

Ф. Н. Джафаров, кандидат геолого-минералогических наук

Ответственный секретарь

Т. М. Каскевич

Ученый секретарь

Е. В. Альперович-Ландо, академик МАИ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

А. Б. Бегалинов, доктор технических наук, профессор

О. Б. Бейсеев, доктор геолого-минералогических наук, профессор

С. Ж. Галиев, доктор технических наук, профессор

К. К. Жусупов, доктор технических наук, академик МАИН

Л. И. Кованова, кандидат технических наук

А. Р. Ниязов, доктор геолого-минералогических наук, профессор

Учредитель:

ТОО «Асбестовое геологоразведочное предприятие»

Журнал зарегистрирован Министерством культуры и информации РК 22.02.2007 г. Свидетельство о регистрации № 8109-Ж. Первичное свидетельство о постановке на учет №3561-Ж от 04.02.2003 г.

Адрес редакции:

110700, г. Житикара, 4 мкр. 5 «А»

Тел./факс: 8(31435) 2-22-72

E-mail: nizamid@mail.ru, asbestgrp@mos k.ru

ISBN 9965-431-42-7

Литературная обработка **Т. Е. Катковой**

Дизайн **И. Я. Хафизова**

Компьютерная обработка **И. У. Насыровой**

Подписано в печать 16.03.2007. Формат 84X108 1/8. Бум. офсетная. Уч.-изд. л. 3,8. Тираж 500 экз. Заказ №1079.

Отпечатано в ТОО "Print-S", г. Алматы, ул. Ибрагимова, 1

© ТОО «Асбестовое геологоразведочное предприятие», 2007

БЕГАЛИНОВ А. Б., ПЕРЕГУДОВ В. В., АБДУЛЛАЕВ О. Т.
К МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ ЗОЛОТА В РУДАХ КУМЫСТИНСКОЙ ГРУППЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ3

ПОЛЕНОВ Ю. А., САЗОНОВ В. Н., ОГОРОДНИКОВ В. Н.
РЗЭ В МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ КВАРЦИТАХ И КВАРЦЕВО-ЖИЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ УФАЛЕЙСКО-КАРАБАШСКОГО БЛОКА (ЮЖНЫЙ УРАЛ) И ИХ ИНДИКАТОРНАЯ РОЛЬ9

ДЖАФАРОВ Ф. Н.
УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЗОЛОТО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НАЙМАНЖАЛ17

КОВАНОВА Л. И., ГОРБАЧЕВА О. Ю.
СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПРОЦЕССА ДРОБЛЕНИЯ АСБЕСТОВОЙ РУДЫ НА ЦЕНТРОБЕЖНОЙ (ДЦ) И ВЕРТИКАЛЬНО-МОЛОТКОВОЙ ДРОБИЛКАХ21



Editor

N. N. Jafarov, dr. of geological sciences, academician NEA RK and IEA

Co-editor

F. N. Jafarov, candidate of geological sciences

Secretary

T. M. Kazkevitch, engineer-geologist

Secretary of sciences

E. V. Alperovich-Lando, academician IAI

EDITORIAL BOARD:

A. B. Begalinov, dr. of technical sciences, professor

O. B. Beiseyev, dr. of geological sciences, professor

S. G. Caliev, dr. of technical sciences, professor

K. K. Zhusupov, dr. of technical sciences, academician IAI

L. I. Kovanova, candidate of technical sciences

A. R. Niyazov, dr. of geological sciences, professor

The magazine is registered in the Ministry of Culture, Information of the Republic of Kazakhstan.

Certificate of registration № 8109-Ж dated 22.02.2007

Address of editorial office:

5 «A» house, microdistrict, 4
Zhitikara Kostanai Region, 110700
Republic of Kazakhstan
Tel./fax: 8 (31435) 2-22-72
E-mail: nizamid@mail.ru,
asbestgrp@mosk.ru

Literature processing

T. E. Katkova

Design **I. Y. Hafizov**

Computer processing

I. U. Nassirova

ISBN 9965-431-42-7

*A. B. BEGALINOV, V. V. PEREGUDOV,
O. T. ABDULLAEV*

ON MINERALOGICAL CHARACTERISTIC OF GOLD IN ORES OF KUMISTINSKY GROUP OF DEPOSITS3

*U. A. POLENOV, V. N. SAZONOV,
V. N. OGORODNIKOV*

REGULARITIES OF RARE EARTH ELEMENT DISTRIBUTION IN METASOMATIC QUARTZITES AND QUARTZ-VEIN FORMATIONS OF UFALEY-KARABASH BLOCK (THE SOUTHERN URALS) AND THEIR INDICATOR ROLE9

F. N. JAFAROV

ORE FORMATION CONDITIONS AND POTENTIAL OF NAIMANJAL GOLD-COMPLEX ORE DEPOSIT17

L. I. KOVANOVA, O. U. GORVACHEVA

COMPARATIVE TESTING OF ASBESTOS ORE CRUSHING WITH CENTRIFUGAL AND VERTICAL HAMMER CRUSHERS21

К МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ ЗОЛОТА В РУДАХ КУМЫСТИНСКОЙ ГРУППЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

А. Б. БЕГАЛИНОВ, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой РГП и ШС Казахского национального технического университета им К. Сатпаева,

В. В. ПЕРЕГУДОВ, генеральный директор ТОО «КРИЦ-НТК»,

*О. Т. АБДУЛЛАЕВ, президент ТОО «Терискей»,
г. Алматы, Республика Казахстан*

Исследованы морфометрическая и минералогическая характеристики свободного самородного золота и сопутствующих ему минералов месторождений Келиншектау, Жолбарсты, Шован и ряда рудопроявлений, входящих в Кумыстинскую группу месторождений золота.

Күмісті алтын кен орындарының тобына кіретін Келіншектау, Шован, Жолбарсты және де басқа да кен орындарының сап алтын және онымен біріккен қосалқы минералдардың морфометриялық және минералогиялық сипаттары зерттелген.

The article discusses the research of the morphometric and mineralogical properties of free native gold and accompanied minerals of deposits Kelishektau, Zholbarsty, Shovan and a number of ore occurrences belonging to the Kumysty group of gold deposits.

В Кумыстинскую группу месторождений золота входят месторождения Келиншектау, Жолбарсты, Шован и ряд рудопроявлений. Пространственно с ними связаны россыпи золота [1].

В Северо-Западном Каратау, в зоне Главного Каратауского разлома, выявлены месторождения сложного золото-серебряно-сурьмяного типа [2]. Оруденение этого типа пространственно связано с Кумыстинским массивом, сложенным граносиенитами, монзонитами, сиенитами, их порфиоровыми разновидностями, габброидами, микродиоритами, диоритами, порфиритами. К массиву тяготеют эффузивные породы щелочного состава (трахиты и вариолиты). Интрузив активно контактирует с известняками и доломитами бакырлинской свиты рифея и перекрывается конгломератами венда.

На площади Кумыстинского рудного поля в зависимости от состава вмещающих пород и структурного положения выделены

два морфологических типа золотой минерализации: пластовые залежи и зоны вкрапленной минерализации – участки Косунгур и Келиншектау. Пластовые залежи локализуются в пористых, брекчированных, скарнированных и глинистых доломитах. По падению они иногда переходят в системы кварц-сульфидных прожилков.

В гранитоидах оруденение представлено кварцевыми жилами с бедной сульфидной минерализацией (участки Джарыктас, Аккуз, Теректы). Жилы сложены крупнозернистым кварцем с сульфидами и сопровождаются березитизацией вмещающих пород.

Наиболее продуктивны на золото, по мнению В. Д. Онищенко, Н. П. Ильющенко [2], малосульфидная кварц-пирит-арсенипиритовая и кварц-колчеданная минерализации с богатыми залежами сульфидов, земещенных в зоне гипергенеза бурыми железняками и обогащенных золотом. Менее продуктивны зоны полиметаллической

минерализации (Жарыктас, Аккуз) и зоны блеклых руд (Южный Косунгур).

В жильном типе содержание кварца достигает – 90–95 %, сульфидов 3–5 %, в метасоматических пластовых залежах количество кремнезема снижается до 50 %, а сульфидов соответственно повышается до 20–30 % и более. В первом случае это будут убого, реже умеренно сульфидные кварцевые руды, во втором – существенно сульфидные или массивные сульфидные руды.

По данным предшествующих исследователей самородное золото обнаруживается во всех типах руд микроскопической и субмикроскопической размерности в пирите, арсенопирите и халькопирите. Перераспределение и укрупнение золота наблюдаются в зоне гипергенеза при замещении сульфидов бурыми железняками.

По предварительным исследованиям в рудах отмечаются две минеральные ассоциации: золотоносная – пирит-халькопирит-пирротин-арсенопиритовая и сереброносная – блекловорудно-галенит-сфалерит-станнин-висмутиновая, находящиеся в парагенетической связи.

Проявления золотого оруденения кумыстинского типа известны и в других участках Каратау (Нижне-Рангское, Алтынтау, Жакырлы). Кроме того, в зоне эндо- и экзоконтакта Кумыстинского массива обнаружены многочисленные неизученные рудопроявления золота, часть которых отрабатывалась еще до нашей эры.

Россыпное золото представлено Кумыстинской россыпью, приуроченной к одноименной речке. Россыпь аллювиальная, долинного типа. Протяженность россыпи 3 км, ширина 70–90 м, мощность торфов 3–5 м, песков 1,5–2,0 м, среднее содержание золота в песках 1078 мг/м³. Здесь находятся также россыпи золота конуса выноса (р. Алтынтаусай, Мынчукур).

Минералогическому изучению мы подвергли следующие типы руд:

1. Темно-серые микрозернистые известняки без видимой сульфидной минерализации.

2. Перекристаллизованные (мраморизованные), частично окварцованные известняки светло-серого цвета с густой вкрапленностью сульфидов.

3. Кварцевые и кварц-сульфидные руды.

Форма нахождения самородного золота изучалась по методике, разработанной в «КРИЦ-НТК», заключающейся в исследовании ксков кислотного растворения минералов: карбонатов – уксусной, кварца – плавиковой, сульфидов – азотной и железистых минералов – соляной кислотами.

Результаты минералогических исследований форм нахождения самородного золота в перечисленных минеральных типах руд приведены в табл. 1.

Как показали минералогические исследования, самородное золото находится практически во всех главных минералах горнорудной массы. Больше всего его в сульфидах (пирит, халькопирит), примерно равное количество в кварце и карбонатах. Форма золотинок неправильная, от изометричных, почковидных до пластинчатых и комковидных массивных выделений в кварце и сульфидных минералах. Средний размер золотинок колеблется от 62 × 45 × 22 до 98 × 73 × 48 мкм. Проведенные нами количественные расчеты по минералогическим данным показывают, что с этими формами золота связано 3,79 г/т общего золота, что соответствует примерно 70 % от общего золота, остальные 30 % приходятся на субмикроскопические, тонкодисперсные формы нахождения.

Наибольший интерес представляют темно-серые известняки или карбонатные типы руд. В них установлено самородное золото. С развитием окварцевания известняков самородное золото перераспределяется и локализуется в сульфидах.

Темно-серые известняки (карбонатные). В темно-серых известняках самородное золото находится в кальците. Сульфиды в них отсутствуют. Представлено золотинок светло-желтого цвета, которые обрастают тонкими щетками микрокристаллов золота бронзового цвета. Основ-

Таблица 1. Формы нахождения самородного золота в различных типах руд Кумыстинской группы месторождений

| Показатели | Типы руд | | | | |
|--|--|---|------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| | Карбонатные | Карбонат-сульфидные | | Кварц-сульфидные | |
| | | в карбонате | в сульфидах | в кварце | в сульфидах |
| Количество золотин, шт | 10 | 63 | 101 | 50 | 52 |
| Количество золотин, % | — | 23,69* | 31,97* | 18,79* | 19,55* |
| Характерная форма, цвет | Изометрично-дендритовидная, светлозеленовато-желтый, зелено-желтый | Изометрично-дендритовидная, зелено-желтый, зелено-серый | Комковидная, красновато-коричневый | Пластинчатая, зеленовато-желтый | Комковидно-дендритовидная, бронзовый |
| Средний размер, мкм | 70 x 43 x 23 | 62 x 45 x 22 | 120 x 78 x 31 | 71 x 40 x 15 | 98 x 73 x 48 |
| Коэффициент уплощенности | 3,04 | 2,81 | 3,87 | 4,73 | 2,04 |
| Размер золотин, мкм | 140 x 42 x 28 | 238 x 112 x 56 | 210 x 140 x 42 | 140 x 84 x 14 | 210 x 140 x 70 |
| Максимальный | 14 x 14 x 14 | 14 x 14 x 14 | 28 x 14 x 14 | 28 x 14 x 14 | 28 x 14 x 14 |
| Минимальный | | | | | |
| Кол-во золотин, линейный размер которых $\geq 0,1$ мм, % | ~ 40 | 17,6 | 50,0 | 38,0 | ~ 40,0 |

* Приведены к навеске пробы 2000 г.

ная форма выделений дендритовидная и изометричная (сфероидальная). Наиболее интересные и редкие образования – сферы, имеющие внутреннее радиально-лучистое строение. Размер лучистых кристаллов 5–8 мкм, а образованных ими сфер – до 84 мкм. Встречаются сферы меньшего – диаметра 28–42 мкм. Сфероидальные выделения золота составляют около 30 % от общего количества золотин. Дендриты образованы ветвящимися сростками мелких кристаллов, формируют ажурную губчатую структуру, при нажатии иглой распадаются на субмикроскопические кристаллики. Самородное золото в карбонатах составляет от выявленного самородного золота 7 вес. %. При растворении карбонатов кроме золота были уста-

новлены пирит, халькопирит, арсенопирит. Самородное золото в сульфидных минералах из карбонатов преобладает, и на его долю приходится 55 вес. %. Оно более крупное, доминируют выделения неправильной комковидной формы, цвет золотин желтый, с буровато-коричневым, красноватым оттенком. В нерастворимом остатке встречены светло-коричневые выделения касситерита, циркона и металлические шарики. Самородное серебро отсутствует.

Самородное золото в кварце составляет не более 4 вес. % от всего самородного золота. Представлено исключительно уплощенными, пластинчатыми выделениями, реже очень сложной формы сростками кристаллов. Цвет золота зеленовато-желтый, с сероватым оттенком. Поверхность золотин

шероховатая, с буграми и швами, чистая.

Самородное золото в сульфидах из кварца составляет 34 вес. % от всего самородного золота. Представлено массивными комковидными выделениями бронзового, зеленовато-желтого цвета. Иногда зерна золота покрыты коричневой мелкозернистой коркой гидрооксидов железа.

Таким образом, минералогический анализ форм нахождения самородного золота показал, что оно:

встречается во всех главных минералах и составляет около 70 % от общего золота; остальное приходится на тонкодисперсные, рассеянные формы золота;

представлено зернами неправильной формы – от изометричных, сфероидальных выделений в темно-серых известняках до комковидных в сульфидных минералах и пластинчатых в кварце;

по цвету подразделяется на две главные разновидности – светлые, зеленовато-желтые, и бронзовые выделения, что свидетельствует о разном составе в нем микропримесей.

Кроме того, было установлено, что:

поверхность золотинок чистая и хорошо развита;

преобладают золотины тонкой пылевидной размерности, наряду с которыми встречается крупное золото ($>0,1$ мм);

судя по приведенным данным, выявленная часть (70 %) самородного золота гравитационно извлекаемая в случае достижения его полного вскрытия из вмещающих минералов.

В целях изучения вскрытия самородного золота в дробильно-измельчительном цикле переработки руды были проведены минералогические исследования на руде крупностью – 2 мм с последующим ее доизмельчением до класса крупности $-0,074$ мм. Результаты приведены в табл. 2.

Как показывают приведенные данные, вскрытие самородного золота в рудомещающих минералах начинается на стадии мелкого дробления и достигается наиболее полно при доизмельчении в шаровой

мельнице. При этом везде преобладает тонкое и пылевидное самородное золото и примерно сохраняется до класса крупности ($+0,044$ мм) одна и та же пропорция – в 18–22 раза его больше вскрывается при измельчении в шаровой мельнице.

Невскрытое самородное золото большей частью находится в сульфидных минералах, о чем свидетельствуют полученные данные по мелкому дроблению руды (см. табл. 2).

Как видно из табличных данных, количество зерен в этом случае на один-два порядка выше по сравнению со вскрытым.

Характеристика свободного самородного золота. Как уже упоминалось, вскрытие самородного золота начинается на стадии мелкого дробления. При этом частично вскрываются сульфидные минералы, по-видимому, за счет их высвобождения из карбонатных минералов. Среди сульфидов установлены пирит, халькопирит, реже арсенопирит, сфалерит, галенит. Преобладает пирит. Он встречается в виде хорошо ограненных пентагондодекаэдрических кристаллов и оскольчатых зерен.

Свободное самородное золото практически не испытало динамических нагрузок и поэтому сохранило первичные формы. Это зеленовато-желтые неправильной формы зерна, угловато-комковидные, реже пластинчатые и совсем редко сростки правильных ромбододекаэдрических кристаллов. Поверхность зерен чистая, с отпечатками вмещающих минералов. Размер колеблется от $14 \times 14 \times 14$ до $224 \times 140 \times 42$ мкм, средний $60 \times 33 \times 20$ мкм. Судя по морфометрическим характеристикам, при мелком дроблении высвобождается в первую очередь самородное золото карбонатов (см. табл. 2). Часто встречаются сростки золота со сфалеритом.

Кроме золота из самородных металлов были установлены самородное серебро (единичные знаки) сложной дендритовидной формы, а также несколько (чечевидных) зерен ($56 \times 28 \times 28$ мкм) белого слабомагнитного металла (платина?).

При измельчении руды до класса крупности 79,8 % от $-0,074$ мм (исходная руда местной обогатительной фабрики) увели-

Таблица 2. Распределение свободного самородного золота по классам крупности при разной степени дробления и измельчения исходной руды

| Исходная руда, класс крупности | Количество золотин, шт., по классу крупности свободного самородного золота, мм | | | |
|---|--|------------|--------------|------------|
| | +0,2 | -0,2+0,074 | -0,074+0,044 | -0,044 |
| Исходная руда, класс крупности | +0,2 | -0,2+0,074 | -0,074+0,044 | -0,044 |
| Руда мелкого дробления 96 % от -2 мм | 3/3* | 12/367* | 20/693* | 361/~4000* |
| То же, после доизмельчения 75,3 % и -0,074 мм | 55 | 224 | 455 | ~ 1900 |

* В знаменателе указано золото, находящееся в сульфидных минералах (после растворения в азотной кислоте).

числось количество свободного самородного золота и произошла индивидуализация рудовмещающих минералов. Среди последних были встречены кварц, карбонат, пирит, халькопирит, арсенопирит, галенит, сфалерит, гематит, барит, малахит, биотит, мусковит и железная стружка.

Свободное самородное золото в крупных классах (+0,2 мм) – закатанные и расплюснутые зерна изометричной (лепешковидной) и пластинчатой формы. Цвет золота грязно-желтый, с зеленовато-серым оттенком. Отдельные пластинки покрыты ржаво-красным оксидом железа. Максимальный размер 770×210×70 мкм, средний 483×308×48 мм. Коэффициент уплощенности 10.

Помимо золота были встречены самородное серебро и медь. Серебро встречается в виде дендритов и почковидных агрегатов.

В классе крупности -0,2+0,074 мм свободное самородное золото имеет также в основном вторичные изометричные и пластинчатые формы за счет расплющивания шарами в мельнице. Цвет золота желтый, с широкой гаммой оттенков от зеленовато-серого, зеленовато-желтого до красновато-коричневого. Последнее обязано заклепыванию золотин железной стружкой. Средний

размер золотин в этом гранулометрическом классе составляет 145×124×93 мкм, максимальный – 224×196×140 мкм. Очень часты сростки золота со сфалеритом, редки с малахитом и кварцем.

Самородное серебро представлено дендритами стебельчатого облика, встречается в частых знаках.

Самородная медь (единичные знаки) отмечается в виде закатанных изометричных зерен.

Наряду с этим встречен также самородный металл шаровидной формы (0,1 мм) серо-стального цвета, по твердости находящийся между золотом и платиной.

В классе крупности -0,074+0,044 мм золотины комковидной и пластинчатой формы, серовато-желтые, тускло-желтые, с некоторым внутренним серо-стальным оттенком. Вообще цвет золота в этом классе крупности близок к преобладающему здесь пириту. Средний размер золотин 84×65×28 мкм, максимальный 140×112×28 мкм. Кроме золота встречается также самородное серебро.

В классе крупности -0,044 мм доминирует зеленовато-желтое золото неправильной комковидной и пластинчатой формы. Средний размер золотин 55×25

× 17 мкм, минимальный ~ 10 мкм. Удивительно, что даже в этом классе крупности наблюдаются сростки золота с сульфидами размером ~ 40 мкм. Совместно с золотом присутствует самородное серебро.

Набор сульфидных минералов аналогичен ранее описанным. Можно лишь отметить преобладание здесь пирита оскольчатого облика.

Таким образом, результаты анализа морфометрической и минералогической характеристик свободного самородного золота и сопутствующих ему минералов, позволяют сделать следующие выводы:

1. Возможно использование современных методов гравитационного обогащения для извлечения золота из руд. Конечно, наиболее предпочтительнее и эффективнее применение центробежной гравитации для классов крупности размером более 0,044 мм, но она ограничивается наличием большого количества самородного золота в сульфидах. Поэтому главной

задачей будет извлечение не свободного самородного золота, а золотосодержащих сульфидов.

2. Необходимо проведение оценочных работ на золото монотонной толщи темно-серых известняков без видимой сульфидной минерализации, среди которых может быть обнаружен новый промышленный тип золотого оруденения, вероятно, с платиноидами [3, 4].

3. Не должны остаться без внимания и перекрывающие известняки древние конгломераты, а также современные россыпи, в которых главными полезными компонентами будут пропущенное тонкое золото и платиноиды.

4. По нашему мнению, Кумыстинское рудное поле – один из немногих в Казахстане рудных участков, где сосредоточены все типы золоторудной минерализации, поэтому оно может претендовать на эталонный для обучения студентов и экскурсионный для всех желающих объект.

ЛИТЕРАТУРА

1. Россыпи золота Казахстана: Справочник. Алматы, 1999.
2. *Онищенко А. Я., Ильющенко Н. П.* Кумыстинское рудное поле // *Металлогения Казахстана. Месторождения золота.* Алма-Ата, 1980. С. 186-190.
3. *Перегудов В. В.* Необычный тип стратиформной серебряной минерализации в позднепалеозойских отложениях Северного Казахстана, пригодный для кучного выщелачивания // *Геология и охрана недр.* 2003. №3. С. 57-59.
4. *Перегудов В. В.* Платиноиды в углеродсодержащих породах Северного Казахстана // *Геология и охрана недр.* 2004. №2. С. 34-38.

РЗЭ В МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ КВАРЦИТАХ И КВАРЦЕВО-ЖИЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ УФАЛЕЙСКО- КАРАБАШСКОГО БЛОКА (ЮЖНЫЙ УРАЛ) И ИХ ИНДИКАТОРНАЯ РОЛЬ

Ю. А. ПОЛЕНОВ, кандидат геолого-минералогических наук, профессор,
Уральский государственный горный институт;

В. Н. САЗОНОВ, доктор геолого-минералогических наук, профессор,
Институт геологии и геохимии УрО РАН;

В. Н. ОГОРОДНИКОВ, доктор геолого-минералогических наук,
Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация

Выявлены закономерности распределения РЗЭ в кварцитах и кварцево-жильных образованиях различных субформаций, влияние на уровень концентрации этих элементов состава пород, в которых они залегают или по которым они развились метасоматическим путем (для ореолов околорудно-измененных пород ряда формаций это уже сделано).

Әр түрлі субформациялық кварцит және кварцит желелерді пайда болған РЗЭ-ның бұл элементтердың өздері жатқан жыныс құрамында немесе метасоматикалық жолмен пайда болған концентрациясының дәріжесене әсіре мен таралу заңдылықтары анықталған (қайсы бір руда манындағы өзгерген жыныстар формациясының ореолы ісін бұл әлде қашан жасалған).

The main purpose of this work is to find out regularities in distribution of rare earth elements in quartzites and quartz-vein units of various subformations, to reveal how composition of the rocks where these elements occur or where they have developed metasomatically on concentrations of these elements (it should be noted that such work has already been done for the haloes of a near-ore alterations of certain formations).

Уральские метасоматические кварциты и кварцево-жильные образования разнообразны по возрасту (первые развиты в интервале времени от AR до Pz₃ [1, 2 и др.], а вторые – от R до Mz [3, 4]). Кварциты составляют формацию метасоматических кварцитов (заметим, что кварциты выделяются также в пределах осадочной формации, зеленосланцевой и амфиболитовой фаций метаморфизма); далее речь пойдет только о них. Множество кварцево-жильных образований, сформировавшихся в различных геотектонических позициях (в шовных

зонах в связи с магматитами и метаморфитами-метасоматитами разных геодинамических обстановок), а также в различных физико-химических условиях (при разных РТХ-параметрах системы и химических составах боковых пород), объединяются в две формации [5]: первично-зернистого и вторично-зернистого кварца. В этих формациях по онтогеническому признаку выделены семь субформаций (рис. 1, 2, табл. 1). Приведем краткую характеристику онтогенических типов кварцево-жильных образований, базируясь на работе [6].

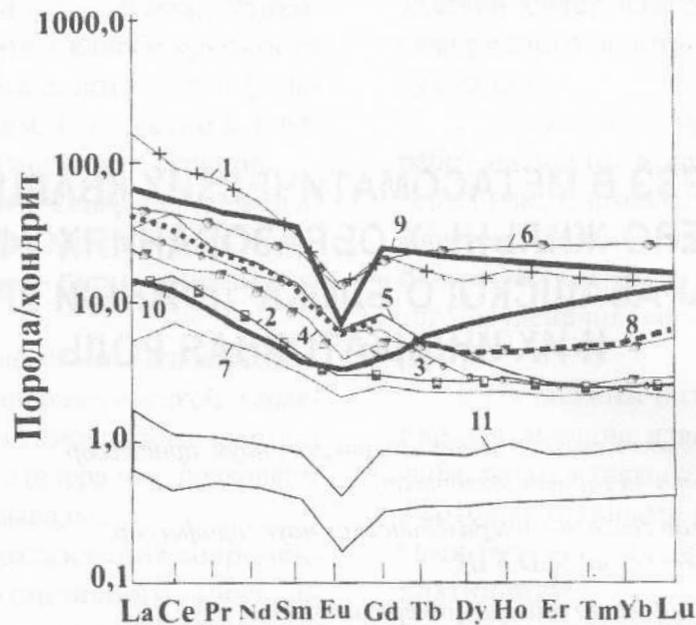


Рис. 1. Спайдер-диаграммы распределения РЗЭ: в кварцитах (1 – 7; 8 – среднее из 7), гнейсе (9), амфиболите (10), кварцево-жильных образованиях (11, обобщенные данные по 11 жилам). Номера диаграмм с 1 по 7 соответствуют порядковым номерам проб табл. 2. Данные о том, где и кем выполнены анализы, см. в примечании к табл. 2. Нормирование содержаний РЗЭ проведено по хондриту [N. M. Evensen et al., 1978]

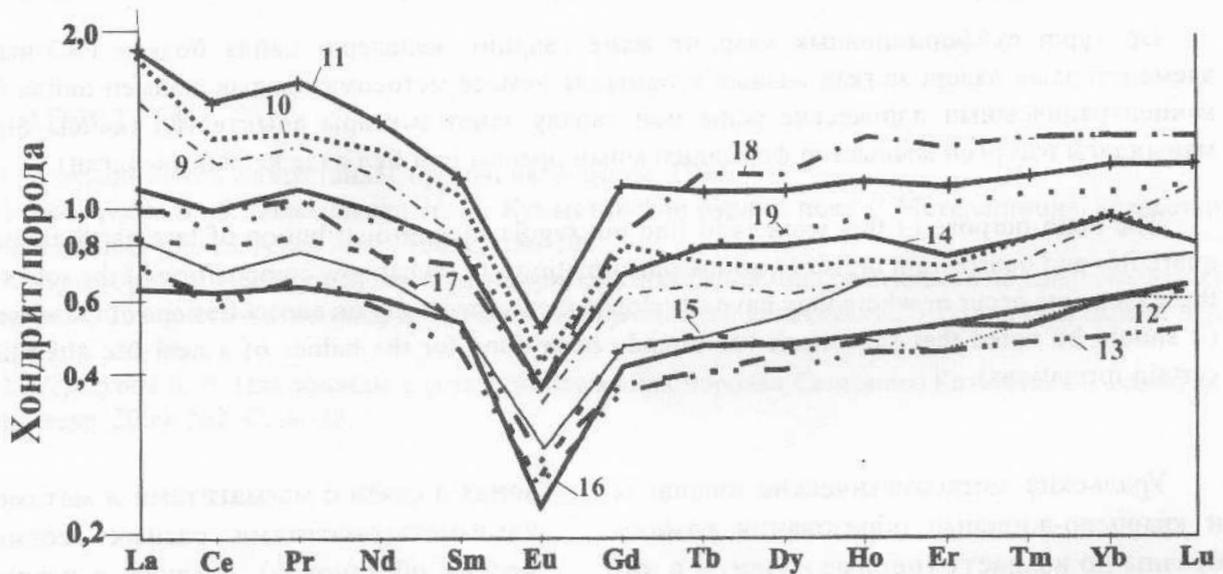


Рис. 2. Спайдер-диаграммы распределения РЗЭ в кварцево-жильных образованиях различных онтогенетических типов. Номера диаграмм и проб в табл. 2 одни и те же

Основной нередко практически единственный, минерал метасоматических кварцитов и кварцево-жильных образований – кварц. Он детально изучается при проведении разностадийных геологоразведочных работ, специализированных на этот минерал (горный хрусталь, аметист, морион, гранулированный кварц и др.). Эти же работы, но

проводящиеся на Au, W, Sn, Mo и другие элементы (металлы), сопряженные с кварцевыми жилами, как правило, «обходятся» без детального исследования кварцевой составляющей последних.

Приведенные в табл.1 онтогенетические типы кварцево-жильных образований следует дополнить так называемым «слож-

Таблица 1. Формации, субформации и минералого-технологические типы кварцево-жильных образований Уфалейского кварцевоносного района

| Геодинамический режим | Формация | Субформация (онтогенический тип) | Генетический тип | Структура кварца | Минералого-технологический тип (эталон) |
|-----------------------|--|--|---------------------------------|---|---|
| Ранняя коллизия | Кварцево-жильные образования первично-зернистого кварца | Жилы метаморфической дифференциации | Метаморфогенный | Грануло-морфная, среднезернистая, с ровными границами зерен | |
| | | Тела замещения (метасоматические кварциты) | Гидротермально-метасоматический | Мелкозернистая, с зубчатыми границами зерен | Серебровский (сл-3) |
| | | Жилы выполнения | Гидротермальный | Шестоватая, крупногигантозернистая (молочно-белого кварца) | Карояновский (ж-35) |
| Поздняя коллизия | То же | То же | То же | Шестоватая, крупногигантозернистая (стекловидного кварца) | Пугачевский (ж-88) |
| | Кварцево-жильные образования вторично-зернистого гранулированного кварца | Жилы перекристаллизации (по жилам метаморфической дифференциации) | Метаморфогенный | Гетеробластовая, крупнозернистая, с ровными границами зерен | Слюдяногорский (ж-170) |
| | | Жилы, сложенные неоднородно гранулированным кварцем (по телам замещения) | Метаморфогенно-метасоматический | Гетеробластовая, мелко-, среднезернистая, с извилистыми границами зерен | Уфалейский (ж-175) |
| | | Жилы, сложенные однородно гранулированным кварцем (по жилам выполнения) | То же | Гранобластовая, средне-, крупнозернистая, с ровными границами зерен | Кыштымский (ж-101) |
| | | Тела, сложенные тонкозернистым (метасоматическим льдисто-подобным) кварцем | Гидротермально-метасоматический | Гранобластовая, тонкозернистая, с зубчатыми границами зерен | Егустинский (ж-414) |

ным» типом, состоящим из сочетаний «простых» онтогенических типов; этот тип свойствен многостадийным кварцевым жилам. Сразу укажем, что основной причиной развития онтогенических типов в данных образованиях является смена структурно-вещественных комплексов в связи с эволюцией геодинамических обстановок в геологической истории Урала (в табл. 1 приведены примеры для ранней и поздней коллизий).

Жилы перекристаллизации возникают под действием метаморфических факторов (РТХ-параметров), определивших развитие метаморфизма в условиях зеленосланцевой, эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций. Такие жилы подразделяются на сегрегационные и метасоматически-сегрегационные. Для кварцевых жил рассматриваемого онтогенического типа типично укрупнение зерен минералов, с одной стороны, и дифференциация минералов в про-

странстве – с другой. В прожилках (мощностью до 2 см) центральная часть обычно сложена кварцем, а иногда кислым плагиоклазом и биотитом (последний редок). В более мощных прожилках (жилах) кварц сосредоточивается в центральной части, а плагиоклаз и биотит – по их периферии, где довольно часто фиксируются реликты боковых пород. Указанные кварцево-жильные образования характеризуемой онтогении часто встречаются группами.

Кварцевые жилы замещения наиболее отчетливо проявлены в амфиболитах (их белый цвет хорошо выделяется на фоне общей темной окраски пород). Эти жилы сложены мелкозернистым кварцем, развивающимся по роговой обманке. Контакты жил неровные (извилистые и заливообразные). Параметры рассматриваемых жил небольшие: мощность не превышает 0,3 м, редко достигает 0,5 м, длина 1–2 м, по падению они прослеживаются не более чем на 1,5 м.

Эти жилы часто сопровождаются ореолами окварцевания амфиболитов. Их кварц светло-серый, мелкозернистый, сахаровидный.

Кварцево-жильные тела выполнения – минерализованные трещины и полости (часто выполнены кварцем, реже – альбитом и кварцем, андалузитом и кварцем). Сюда же относятся жилы альпийского типа. Эти тела обычно образуются по трещинам скола, реже по трещинам отрыва. В последнем случае форма тел более сложная (в первом случае это линзы и чечевицы). Их длина достигает 15 м, а мощность колеблется в пределах 1–3 м. Длина тел, приуроченных к трещинам скола, составляет 100 м. В описываемых жилах из других минералов обычно встречаются только акцессоры – рутил, пирит, ильменит, турмалин. Модель развития тел выполнения – существенный привнос SiO_2 флюидом, далее кристаллизация кварца в полых трещинах. К жилам выполнения относятся также кварцевые тела с альбитовой оторочкой, которая может развиваться путем свобод-

ного роста или свободного в полость и метасоматического в сторону боковых пород. Понятно, что альбитовая оторочка может сформироваться только тогда, когда флюид существенно обогащен натрием. Названная оторочка образуется раньше кварца жилы [6]. Андалузит-кварцевые тела сложены гигантозернистым кварцем, обычно молочно-белого цвета. В их зальбандах развиты альбит и андалузит. Последний сформировался раньше, чем кварц [6].

Кварцевые жилы рекристаллизации – продукты метаморфической трансформации при повышенных РТХ-параметрах (не ниже точки перехода α -кварца в δ -кварц, равной 573 °С) ранее образовавшихся кварцево-жильных образований. Эти продукты представлены жилами гранулированного кварца. Такой кварц, особенно его особо чистая разновидность, является высокопотребным минеральным сырьем.

В онтогеническом отношении наиболее сложны полистадийные (полигенные и полихронные) кварцевые жилы: в них отмечаются фрагменты жил перекристаллизации, замещения, выполнения и рекристаллизации [6, 5].

Нами выделены следующие типы кварцево-жильных образований, сложенные гранулированным кварцем: слюдяногорский, уфалейский, кыштымский и егустинский [5]. Кварцевые жилы слюдяногорского и уфалейского типов являются результатом перекристаллизации агрегатов кварца (с укрупнением зерна), а кыштымского типа – рекристаллизации гигантозернистого кварца (с уменьшением размерности зерен). Микро-тонкозернистый кварц егустинского типа гидротермально-метасоматический, он замещает кварцы всех других типов, но большей частью уфалейского и кыштымского.

Основные закономерности размещения кварцево-жильных образований в Уфалейско-Карабашском тектоническом блоке, где развиты структурно-вещественные комплексы, несущие самую разнообразную, в том числе кварцево-жильную (здесь мы в связи с основной задачей работы коснем-

ся только их), минерализацию, всех геодинамических обстановок, через которые «прошел» Урал в своей сложной эволюционной геологической истории, таковы [6]. В периферийной части Уфалейского метаморфического блока преобладают кварцево-жильные образования уфалейского типа (сложены тонко-мелкозернистым гранулированным кварцем). Здесь же развиты жилы перекристаллизации слюдяногорского типа. В сланцевом обрамлении блока, в зоне влияния Главного коллизионного шва, преобладают кварцево-жильные образования кыштымского типа (представлены средне-крупнозернистым гранулированным кварцем). В указанной зоне, кроме того, распространены жилы первично-кристаллизованного стекловидного и молочно-белого кварца, сформированные в период поздней коллизии [6]. В вулканогенно-осадочном комплексе Маукско-Карабашской зоны развиты жилы первично-кристаллизованного кварца; сильно преобладают жилы с кварцем молочно-белой окраски.

Далее охарактеризуем распределение РЗЭ в кварцитах и кварцево-жильных образованиях. Оно установлено на базе анализа спайдер-диаграмм распределения РЗЭ в кварцитах и кварцево-жильных образованиях. На диаграммы кроме данных по конкретным «объектам исследования» нанесены спайдер-диаграммы для усредненного метасоматического кварцита, а также для гнейса и амфиболита (см. рис. 1). Это сделано в целях сравнительного изучения распределения РЗЭ в указанных образованиях, а в конечном результате – для получения генетической информации. Исходные данные приведены в табл. 2. Из анализа спайдер-диаграмм (см. рис. 1, 2) (порядковые номера проб в табл. 2 и на рисунках одни и те же) вытекает следующее:

1. По уровню концентрации РЗЭ в исследуемых образованиях на рис. 1 отчетливо выделяются две их группы: первая расположена в верхней части рисунка и соответствует метасоматическим кварцитам, а вторая занимает нижнюю его часть и отвечает кварцево-жильным образованиям. Учитывая, что РТХ-параметры образова-

ния субстанций обеих групп сопоставимы [1–3, 5, 6, 10], причину такого различия, очевидно, следует искать в составе эдуктов (для кварцитов) и вмещающих пород (для кварцево-жильных образований). Нам представляется, что главными эдуктами Уфалейского метаморфического блока, где сосредоточена основная масса кварцитов и кварцево-жильных образований рассматриваемой площади (Уфалейско-Карабашского блока), являются гнейсы и амфиболиты.

2. Далее сравним спайдер-диаграммы, представленные на рис. 1, для «среднего» кварцита (кривая 8), гнейса (кривая 9) и амфиболита (кривая 10). Поскольку при кислотном выщелачивании РЗЭ выносятся [1, 2], и большая часть спайдер-диаграмм, отвечающих кварцитам, расположена ниже спайдер-диаграммы гнейсов, есть все основания считать последние эдуктами этих метасоматитов. Что касается амфиболитов, то они в качестве эдуктов могут служить только для магнетитовых кварцитов Теплогорского месторождения (кривая 7) и для кварцита, расположенного у дер. Серебры (кривая 6).

Распределение РЗЭ в кварцево-жильных образованиях иллюстрируется двумя рисунками: на рис. 1 (нижняя часть, окрашенная в серый цвет, обозначенная № 11) приведена интегральная «площадь» распределения этих элементов, на рис. 2 – индивидуальные кривые распределения РЗЭ в кварцево-жильных образованиях изученной площади. Представляется, что генетическая интерпретация данных по кварцево-жильным образованиям (см. рис. 1, 2) может быть сформулирована таким образом. Прежде всего наиболее «чистыми» от РЗЭ являются Щербаковская кварцевая жила (выполнения, см. рис. 2, кривые 16, 17) и кварцевые жилы кыштымского типа (выполнения и более поздних – рекристаллизации и перекристаллизации, см. рис. 2, кривые 10, 11). Что касается Щербаковской жилы, то ее можно принять за эталон при оценке влияния состава флюида на уровень концентрации РЗЭ в нем самом и в кварцевых жилах выполнения. Кварцевые жилы с гранулированным

Таблица 2. Содержание РЗЭ (г/т) в метасоматических кварцитах и кварцево-жильных образованиях Урала

| № проб | La | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu |
|------------------------------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|
| Кварциты | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 32,14 | 60,63 | 7,10 | 25,67 | 4,55 | 0,79 | 4,20 | 0,64 | 4,06 | 0,98 | 2,75 | 0,41 | 2,47 | 0,33 |
| 2 | 3,20 | 10,48 | 0,93 | 3,57 | 0,73 | 0,17 | 0,75 | 0,12 | 0,74 | 0,17 | 0,49 | 0,53 | 0,53 | 0,08 |
| 3 | 7,54 | 15,89 | 1,99 | 7,44 | 1,45 | 0,39 | 1,32 | 0,18 | 0,87 | 0,17 | 0,43 | 0,06 | 0,46 | 0,07 |
| 4 | 5,40 | 12,04 | 1,64 | 6,40 | 1,22 | 0,23 | 1,18 | 0,18 | 1,14 | 0,27 | 0,76 | 0,132 | 0,83 | 0,13 |
| 5 | 8,24 | 27,52 | 2,45 | 9,17 | 1,85 | 0,37 | 1,68 | 0,22 | 1,06 | 0,20 | 0,48 | 0,07 | 0,42 | 0,07 |
| 6 | 11,54 | 26,44 | 3,32 | 13,75 | 3,72 | 0,79 | 1,26 | 0,86 | 6,04 | 1,46 | 4,35 | 0,71 | 4,57 | 0,66 |
| 7 | 15,18 | 30,36 | 3,46 | 12,42 | 2,25 | 1,67 | 2,36 | 0,32 | 1,73 | 0,36 | 1,05 | 1,15 | 0,93 | 1,14 |
| 8 | 1,32 | 4,51 | 0,53 | 2,25 | 0,53 | 0,13 | 0,58 | 0,10 | 0,65 | 0,15 | 0,40 | 0,07 | 0,47 | 0,07 |
| Кварцево-жильные образования | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 0,38 | 0,76 | 0,12 | 0,53 | 0,13 | 0,02 | 0,14 | 0,03 | 0,16 | 8,04 | 0,12 | 0,02 | 0,13 | 0,02 |
| 10 | 0,45 | 0,88 | 0,13 | 0,61 | 0,16 | 0,03 | 0,17 | 0,03 | 0,19 | 0,05 | 0,12 | 0,02 | 0,16 | 0,02 |
| 11 | 0,47 | 1,04 | 0,16 | 0,70 | 0,17 | 0,03 | 0,22 | 0,04 | 0,26 | 0,06 | 0,18 | 0,03 | 0,20 | 0,03 |
| 12 | 0,17 | 0,41 | 0,07 | 0,30 | 0,08 | 0,02 | 0,09 | 0,02 | 0,13 | 0,03 | 0,08 | 0,02 | 0,10 | 0,02 |
| 13 | 0,19 | 0,39 | 0,07 | 0,30 | 0,09 | 0,02 | 0,09 | 0,02 | 0,12 | 0,03 | 0,09 | 0,01 | 0,09 | 0,01 |
| 14 | 0,25 | 0,61 | 0,10 | 0,44 | 0,13 | 0,02 | 0,15 | 0,03 | 0,20 | 0,05 | 0,13 | 0,02 | 0,15 | 0,02 |
| 15 | 0,21 | 0,46 | 0,08 | 0,34 | 0,09 | 0,02 | 0,11 | 0,02 | 0,15 | 0,04 | 0,12 | 0,02 | 0,15 | 0,03 |
| 16 | 0,17 | 0,42 | 0,07 | 0,30 | 0,09 | 0,02 | 0,10 | 0,02 | 0,13 | 0,03 | 0,10 | 0,01 | 0,11 | 0,02 |
| 17 | 0,21 | 0,98 | 0,08 | 0,38 | 0,09 | 0,02 | 0,10 | 0,02 | 0,13 | 0,03 | 0,10 | 0,01 | 0,11 | 0,02 |
| 18 | 0,21 | 0,51 | 0,09 | 0,37 | 0,12 | 0,03 | 0,18 | 0,04 | 0,29 | 0,07 | 0,21 | 0,03 | 0,23 | 0,04 |
| 19 | 0,23 | 0,56 | 0,09 | 0,43 | 0,12 | 0,03 | 0,15 | 0,03 | 0,22 | 0,05 | 0,15 | 0,02 | 0,17 | 0,03 |

Примечание. 1–8 – кварциты: 1 (обр. У-12/4) – слюдяной, массивный, тонкозернистый (Карабашское рудное поле, карьер «Кварцитовые ломки»); 2 (обр. У-14/4) – то же, но плитчатый (обр. У д. Сребры); 3 (обр. У-44/1) – то же; 4 (обр. У-33/2) – гранатовый, массивный, среднезернистый (Кыштымское месторождение кварца, Южный Урал); 5 (обр. У-33/1) – графитовый, массивный, среднезернистый (Кыштымское месторождение кварца, Южный Урал); 6 (обр. У-13/1) – слюдяной, массивный, мелкозернистый (Кыштымское месторождение кварца, ж. 175, Южный Урал); 7 (обр. У-37/3а) – магнетитовый, массивный, среднезернистый (Теплогорское месторождение, Южный Урал). 8 – среднее из 7 проб.

9–19 – кварцево-жильные образования: 9 (обр. У-282) – крупнозернистый, прозрачный, перекристаллизованный, Кыштымское месторождение, ж. 170, Южный Урал); 10 (обр. У-281) – то же, но дымчатый (привязка та же); 11 (обр. 175 Уф) – неоднороднозернистый (зерна мелкие и средние по размеру), перекристаллизованный (Кыштымское месторождение, ж. 175, Южный Урал); 12 (обр. У-31/1) – гранулированный, среднезернистый (Кыштымское месторождение, ж. 101); 13 (обр. У-32/1) – то же, что и 12; 14 (обр. 175 ег) – тонкозернистый, льдистоподобный (Кыштымское месторождение, ж. 175, Южный Урал); 15 (обр. 22/2) – то же, что и 14 (Кыштымское месторождение, ж. 191, Южный Урал); 16 (обр. У-4/1) – прозрачный, гигантозернистый, светлый (Кыштымское месторождение, ж. Щербаковская); 17 (обр. У-4/1) – прозрачный, дымчатый, гигантозернистый (месторождение то же, что и в 16); 18 (обр. Р-3/3) – молочно-белый, полупрозрачный (месторождение Радиомайка, ж.31, Южный Урал); 19 (обр. Ки-2/4) – молочно-белый, непрозрачный, массивный, крупнозернистый (обнажение у с. Кидыш, Уйский район, Челябинская область).

Онтогенетический тип кварцево-жильных образований (субформации кварца): 9, 10 – жилы перекристаллизации по прожилкам метаморфической дифференциации; 11 – жила перекристаллизации по телу замещения; 12, 13 – жилы рекристаллизации по телам выполнения; 14 – по кварцу уфалейского типа; 15 – по кварцу кыштымского типа; 16 – 19 – жилы выполнения. Кислотное разложение проб выполнено в ИГТ УрО РАН (О. П. Лепихина и О. Ю. Попова), HR/IMS анализ проведен Ю. Л. Ронкиным на масс-спектрометре Element2.

кварцем кыштымского типа, видимо, могут служить эталоном для оценки степени выноса РЗЭ в кислых гидротермальных условиях.

4. Кварц егустинского типа, сформировавшийся по жилам с кварцем уфалейского типа (ж. №175), является «менее чистым», (см. рис. 2, кривые 10, 11, 17 по РЗЭ) по сравнению с его разностью, развившейся по жилам с кварцем кыштымского типа.

Другие кривые, приведенные на рис. 2, но не указанные в тексте, являются промежуточными. Их образование можно объяснить двояко. Во-первых, они могут быть производными флюида разной кислотности (степень выноса РЗЭ, в первую очередь Eu, в сильной мере определяется рН флюида – чем он ниже, тем значительней вынос [3, 7–9]). Во-вторых, в рудную, щелочную стадию происходят дальнейший вынос легких и привнос тяжелых РЗЭ. Интегральное распределение РЗЭ в кварцево-жильных образованиях (см. рис. 2, № 16) в полной мере корреспондируется с этим.

5. Далее следует обсудить вопрос о Eu-аномалии. Из рис. 1 видно, что она и в кварцитах, и в кварцево-жильных образованиях отчетливо корреспондируется с таковой эдуктов. Почему сохраняется эта аномалия при развитии гидротермального и гидротермально-метасоматического кислотных процессов? Это можно объяснить довольно просто. Из всех РЗЭ Eu наиболее растворим в разнообразных (прежде всего в кислых) гидротермах [3, 7, 9, 10–12]. Характер хода кривых распределения РЗЭ, включая и Eu, объясняется комплексообразованием в гидротермальной системе [7].

Возможность такого показана и теоретическими расчетами [9, 10, 11 и др.], и экспериментально [7, 8, 10, 11].

Образование Eu-аномалии в метасоматических кварцитах и кварцевых жилах хорошо объясняется, с одной стороны, наследованием ее от эдуктов, а с другой – выносом европия в кислой среде. Что касается жил выполнения, то при их формировании обмен с веществом или не происходит вовсе

(отсутствуют оторочки гидротермально-метасоматической переработки боковых пород), или он происходит, но незначительный. Сложнее дело обстоит в жилах с гранулированным кварцем, которые являются многостадийными. В них распределение РЗЭ интегральное, но Eu-аномалия остается, так как кислая среда сохраняется на всех стадиях. Подчеркнем, что вынос РЗЭ в кислой среде уменьшается по мере снижения температуры воздействующего флюида. Это хорошо прослеживается в жилах, в которых развит кварц егустинского типа. Щелочная среда (образование рудных кварцевых жил) приводит к незначительному выносу легких РЗЭ и столь же незначительному накоплению тяжелых. Eu-аномалия при этом сохраняется. Это согласуется полностью с нашими ранними результатами [3]. Таким образом, полученные данные по распределению РЗЭ в кварцитах и кварцевых жилах различных онтогенических типов практически полностью согласуются с результатами теоретического и экспериментального изучения гидротермальных систем, содержащих РЗЭ в различных концентрациях. Унаследованный характер отрицательной Eu-аномалии хорошо объясняется наибольшей растворимостью европия в различных гидротермах, особенно в кислых [10, 11]. Остается проблемной форма нахождения РЗЭ в структуре кварца. Решение ее – дело будущих исследований.

Сравнительное изучение характера распределения РЗЭ в метасоматических кварцитах и кварцевых жилах с кварцем различных онтогенических типов показало следующее. Главными параметрами гидротермально-метасоматической системы, влияющими на него (характер распределения), являются рН [5, 8, 10, 11] и Т [8]. Роль давления существенна при формировании жил с особо чистым гранулированным кварцем [6]. Вполне понятно, что эти данные следует учитывать при построении различного рода генетических и прогностических моделей. Кроме того,

они, несомненно, принесут пользу при выделении онтогенических типов кварца на новых площадях, особенно на ранних стадиях развития геологоразведочных ра-

бот. Возможности использования спектров РЗЭ при изучении интегральных, много-стадийных кварцево-жильных и других образований показана раньше [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Месторождения золота Урала / Сазонов В.Н., Огородников В.Н., Коротеев В.А. и др. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН – УГГГА. 2001. 622 с.
2. Панков Ю. Д. Генезис гнейсовых куполов и их железистых кварцитов // Уральский геологический журнал. 2003. №2. 159 с.
3. Сазонов В. Н., Викентьева О. В., Огородников В. Н. и др. РЗЭ в колонках пропилитизации, альбитизации, эйситизации и березитизации-лиственнитизации пород различной кремнекислотности, причины и практическое значение // Литосфера. 2006. № 2. С. 108-124.
4. Лукошков В. Н. Гондиты Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1983. 63 с.
5. Поленов Ю. А., Огородников В. Н., Сазонов В. Н. и др. Кварцево-жильная минерализация Уфалейского коллизийного блока // Литосфера. 2006. № 2. С. 123-134.
6. Поленов Ю. А. Эволюция кварцево-жильных образований Уральского аккреционно-складчатого орогена (онтогенические типы кварцево-жильных образований) // Изв. Уральской госуд. горно-геологич. академии. Екатеринбург, 2003. Вып. 18. С. 98-104.
7. Van M. Rare-earth element mobility during hydrothermal and metamorphic fluid-rock interaction and significant of the oxidation state of Eu // *Geochem. Geol.* 1991. V. 93. P. 219 – 230.
8. Haas I. R., Shock E. L., Sasani D. C. Rare earth elements in hydrothermal systems: Estimates of standard partial molar thermodynamic properties of aqueous complexes of rare earth elements at high pressure and temperature // *Geochim Cosmochim. Acta.* 1995. V. 59. P. 4329-4350.
9. Wood S. A. The aqueous geochemistry of the rare earth elements and yttrium. 2. Theoretical production of speciation in hydrothermal solution to 350°C at saturation water pressure // *Chem. Geol.* 1990. V.88. P. 99 – 125.
10. Колонин Г. Р. Физико-химические особенности Eu как возможного индикатора минералообразования // Докл. РАН. 2006. Т. 408, № 6. С. 508-511.
11. Колонин Г. Р., Широнова Г. П. Возможности использования Eu аномалий в минералах для оценки физико-химических условий петрогенеза и рудообразования // Материалы Всерос. петрографич. совещ. Апатиты, 2005. Т. IV. С. 129-131.
12. Куприянова И. И., Кукушкина О. А., Шпанов Е. П. и др. Распределение REE во флюоритах как индикатор геолого-геохимических особенностей месторождений, связанных с различными магматическими формациями // *Петрология.* 2002. № 3. С. 312-336.

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЗОЛОТО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НАЙМАНЖАЛ

Ф. Н. ДЖАФАРОВ, кандидат геолого-минералогических наук,
ТОО «Natural Resources Management»
г. Алматы, Республика Казахстан

Рассмотрены условия рудообразования золоторудного месторождения колчеданного типа Найманжал. В пределах рудного поля выделены перспективные участки, представляющие промышленный интерес.

Колчедан типті Найманжал алтын рудалы кен орнындағы руда пайда болу жағдайы қарастырылған. Өндірістік қызығу туғызатын кенде аймақтың болашағы зор телімдері анықталған.

Conditions of ore formation at Naimanjal high-sulphidation gold-ore deposit are considered. Promising prospects of potential commercial interest are identified within the ore field.

Месторождение Найманжал относится к золото-полиметаллическому медно-колчеданному типу, где в разрезе преобладают основной вулканизм и производные терригенные образования турбидитовой природы. В результате последующих тектонических активизаций колчеданные руды месторождения подверглись регенерации с привносом золота и серебра.

На месторождении выделяются три пачки ордовикского возраста, которые характерны для многих колчеданных месторождений (см. рисунок).

Нижняя, базальтоидная пачка, отличается подавляющим насыщением базальтами, реже андезитами, андезито-базальтами, субвулканическими дайками и мелкими телами пироксенитов, долеритов, а также продуктами их разрушения и перемыва – вулканомиктовыми конгломератами, гравелитами и песчаниками. Для песчаников характерны зеленый цвет, постоянная примесь пирита, которая в зоне окисления придает породе бурю окраску по трещинам.

Средняя, рудоносная, пачка сложена турбидитами, представленными вулканомиктовыми песчаниками, алевролитами, гравелитами и кремнисто-серицит-хлоритовыми образованиями с линзами, будинами и прослоями массивных, полосчатых золотоносных колчеданно-полиметаллических руд и гнездовой, прожилково-вкрапленной сульфидной минерализацией. За счет бурых, красных, розовых, желтых, фиолетовых тонов окраски первичных пород в зоне окисления породы имеют пестро-цветную окраску. В разрезе пачки также присутствуют линзы кремнистых пород – микрокварцитов, которые зачастую располагаются вблизи рудных тел. Цвет кремней – микрокварцитов варьирует в самых широких диапазонах: от бесцветных до красных, бурых, зеленых, желтых, серых.

Мощность рудной пачки на месторождении 40–120 м.

Верхняя пачка, кремнисто-терригенная, лилового цвета, в нижней части сложена более грубыми осадками – граувакками, круп-

| Индекс | Геологическая колонка | Мощность, м | Геологическое описание пород |
|-----------------------------|-----------------------|-------------|---|
| O ₂ | | > 800 | Терригенная толща. Полимиктовые песчаники, алевролиты табачно-желтого цвета. В зоне окисления желтые, однородные |
| O ₃ | | 70-120 | Кремнисто-терригенная пачка. Розовато-лиловые яшмовидные кремни с прослоями лиловых алевролитов, лиловые алевролиты с прослоями зеленовато-серых песчаников с вкрапленностью пирита |
| O ₂ ¹ | | 40-120 | Рудоносная пачка. Пестроцветная. Кремнисто-серицит-хлоритовые породы с линзами и прослоями массивных, полосчатых колчеданов, прожилково-вкрапленной сульфидной минерализацией. Вулканомиктовые алевролиты, песчаники и гравелиты с вкрапленностью сульфидов. В зоне окисления превращены в сапролиты желтого, желто-бурого, красного цвета. Невыветрелые разности зеленовато-серые, бурые, светло-серые |
| O ₁ ¹ | | > 200 | Базальтоидная пачка. Зеленоцветная. Базальты с обособлениями пироксенитов темного-зеленого цвета, субвулканическими дайками долеритов, вулканомиктовыми конгломератами, гравелитами, песчаниками |

Месторождение Найманжал. Стратиграфическая колонка отложений ордовика

нозернистыми песчаниками и алевролитами серо-зеленого цвета. Переслаивание наблюдается в первых метрах основания верхней пачки, и далее вверх по разрезу обнажаются флишеидные слои лиловых алевролитов и радиоляриевых яшм. Пачка хорошо распознается по геоморфологическому признаку – холмистому рельефу. Лиловый цвет отложения пачки приобретают вследствие присутствия гематита, что свидетельствует об окислительных условиях осадконакопления.

Формирование структуры месторождения можно представить в два основных этапа.

Первый этап связан с морским спредингом, когда вдоль растягивающей структуры морского дна накапливались вулканиды основного состава и продукты их размыва. При затухании вулканизма усиливались гидротермально-осадочные процессы трещинного типа, продукты которых, достигая морского дна, накапливались в локальных

узких впадинах. Гидротермальное кремнисто-сульфидное (колчеданное) рудообразование происходило в восстановительной среде на фоне турбидитного осадконакопления (разрушение вулканических возвышенностей водными потоками). В составе гидротермальных растворов главенствовали кремнезем и сульфиды. Усиление кремнекислотного гидротермального процесса приводило к образованию джаспероидов (сероватых с разными оттенками кремней с рассеянной сульфидизацией). Эти образования отмечаются в центральной и западной зонах месторождения и иногда относятся к кондиционным рудам. В кремнях микроскопически установлено присутствие радиолярий, что характерно для зон подводных гидротермальных систем. По мнению исследователей*, радиоляриевые колонии

* Бортник Н. С., Викентьев И. В. Современное сульфидное полиметаллическое минералообразование в мировом океане. Геология рудных месторождений. 2005. Т. 47. №1. С. 16-150.

создают восстановительную среду, поглощая кислород.

Следует полагать, что гидротермальные растворы поступали в морское дно по жерлам, заложенным в фундаменте, т. е. в базальтоидах. Рудные тела, залегающие в базальтоидах, сопровождаются интенсивным окварцеванием и скорее являются жерловыми фациями колчеданных руд.

Колчеданные руды морского дна и подводящих каналов подвергались внутриформационному разрушению глубоко циркулирующими морскими волнами, так как брекчиевидные обломки колчеданных руд были зафиксированы во многих скважинах юго-восточной части месторождения (профили 8,10). Пострудное осадконакопление происходило при высоком потенциале кислорода, троговые структуры заполнялись кремнисто-терригенными, преимущественно красноцветными осадками третьей надрудной пачки.

Необходимо отметить, что в рудном поле действовали как минимум два типа гидротермальных систем: так называемые черные (месторождение Найманжал) и белые (месторождение Баритовое) курильщики. По литературным данным на перифериях гидротермальных систем типа черных курильщиков обычно накапливаются марганцевые руды, которые наблюдаются на меридиане 10-го профиля месторождения Найманжал. Поэтому можно предположить, что юго-восточное окончание найманжальской гидротермальной системы соответствует этим участкам.

Второй этап формирования структуры месторождения произошел в позднем палеозое, когда ордовикские отложения и колчеданные руды месторождения сохранились в обдукционных залеганиях зоны субдукции. В процессе тектонической активизации толщи рудного поля испытывали одностороннее давление в северо-восточном направлении. В это время формировалась современная структура месторождения, представляющая собой узкую антиклинальную структуру северо-западного простирания с крутопадающими кря-

льями, осложненную северо-восточными и субширотными сбросо-сдвигами. Наиболее крупные сбросо-сдвиги проходили через центральную и восточную зоны. Сбросо-сдвиги осложнили линейные колчеданно-рудоносные структуры ордовика, сохранившиеся в северо-западном простирании с частичным переотложением колчеданных руд в прожилковые морфогенетические типы, а также способствовали привнесу новых порций кремнистых гидротермальных растворов, обогащенных золотом и особенно серебром. В результате тектонических движений сформировались субширотные рудные тела с многочисленными апофизами в центральной и восточной зонах. Следует полагать, что активизация также происходила вдоль основного глубинного разлома северо-западного простирания, где локализованы руды западной и центральной зон. Об этом свидетельствует более позднее интенсивное прожилковое окварцевание колчеданных руд в обеих зонах. Колчеданные пластовые тела первого этапа рудообразования наиболее сохранились в северной зоне.

На наш взгляд, рудообразование второго этапа происходило в восточной зоне вдоль субширотного разлома (сбросо-сдвига), где оно проявилось в возникновении интенсивного прожилкового окварцевания и сульфидизации с золотосеребряным оруденением. Эти руды обнаружены глубокими скважинами, они являются корневыми частями выделенных в зоне окисления рудных тел, отличаются высоким содержанием серебра 200–700 г/т, золота 3–7 г/т и после дополнительного изучения могут представлять самостоятельный интерес для подземной отработки.

Рудные тела месторождения линзо- и пластообразной формы, часто разветвляющиеся (особенно в центральной зоне). Встречаются рудные тела с неправильными формами – сложными флексурными изгибами как в плане, так и в разрезе. Бурением подтверждено, что многие рудные тела с глубиной разветвляются и происходит сужение их мощностей. Резкое сужение

(примерно в 2 раза) мощностей наблюдается в основном на границе зоны окисления и первичных руд, на глубине примерно 30–40 м от поверхности. В связи с сужением мощности рудные тела в зоне окисления приобретают «пальмообразную» форму. Однако необходимо отметить, что сужение мощности при переходе зоны окисления в первичные руды характерно не для всех рудных тел месторождения.

Рудные тела в целом конформны с вмещающими породами рудной пачки, но в частных случаях могут иметь и секущее положение относительно последних.

В пределах рудного поля перспективы обнаружения новых окисленных руд могут быть связаны с флангами рудного поля. Что касается сульфидных руд в восточной зоне, в интервале глубин 40–300 м можно ожидать как минимум три сближенных рудных тела со средним содержанием условного золота (с учетом серебра) около 7–8 г/т и средней мощностью 3–5 м. В центральной зоне

интерес представляет район V-образного карьера, связанный с первичными сульфидными рудами. Особенно интересным здесь может оказаться вновь выявленное рудное тело, доразведку которого следует провести как на глубину, так и на флангах.

Прогноз новых рудных полей связан в первую очередь с другими самостоятельными палеогидротермальными системами типа Найман-1. Для выявления новых рудных полей необходимо провести палеофациальный анализ в совокупности с иными поисковыми признаками. В первых приближениях основными фациальными прогностическими инструментами может оказаться наличие в разрезах базальтоидов, кремней типа джаспероидов и терригенных образований с признаками сульфидизации. Важным является также обнаружение марганцевых накоплений, характерных для окраинных частей современных окисных гидротермальных систем.

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПРОЦЕССА ДРОБЛЕНИЯ АСБЕСТОВОЙ РУДЫ НА ЦЕНТРОБЕЖНОЙ (ДЦ) И ВЕРТИКАЛЬНО-МОЛОТКОВОЙ ДРОБИЛКАХ

Л. И. КОВАНОВА, кандидат технических наук,

О. Ю. ГОРБАЧЕВА, ведущий инженер

ОАО «НИИпроектасбест»,

г. Асбест, Российская Федерация

По результатам испытаний дробления асбестовой руды с одинаковым вещественным составом на вертикально-молотковой и центробежной дробилках определены преимущества центробежного дробления. Приведен сравнительный анализ технологических показателей, качественной характеристики и прочностных свойств волокна.

Асбестік руданы уатуға тәжірібе жүргізу нәтижесінде бірыңғай заттық құраммен тігінен балғалап және орталықтан тепкіш уатқыш арқылы уатқан кезде орталықтан тепкіш уатқыштын артықшылығы анықталды. Талшықтың беріктік қасиетіне және сапалы сиппатамасына, технологиялық көрсеткішіне салыстармалы талдау жасалды.

Advantages of centrifugal crushing are identified by the results of test crushing of asbestos ore of the same composition with the vertical hammer crusher and centrifugal crusher. Contains comparative analysis of performance parameters, qualitative characteristic and strength properties of asbestos fiber.

Дробление в технологии обогащения полезных ископаемых является одной из основных операций, определяющих эффективность и экономичность процесса. Процесс дробления подчинен основному условно-последовательному освобождению асбеста от вмещающей породы без нарушения его природы.

В настоящее время на асбестообогажительных комбинатах наиболее отработаны режимы работы для вертикально-молотковых дробилок ВМД-105А, установленных в технологии цеха обогащения в операциях рудного и перечистного потоков.

Принцип работы дробилок ВМД заключается в следующем: руда, поступающая в дробилку, под действием силы тяжести падает вниз, ударяется молотками верхнего ряда и отбрасывается на ребристую броню, где снова подвергается дроблению. Выходя из этой зоны, поток руды падает на высту-

пающие консоли, где гасится его скорость, и по наклонной плоскости сегментов направляется на следующий ряд молотков. Дробленный продукт разгружается через отверстия в основании корпуса дробилки. Техническая характеристика дробилки ВМД-105А представлена в табл. 1.

Вертикально-молотковая дробилка имеет небольшие габариты и массу. Дробилки ВМД удобны в плане технического обслуживания, но требуют замены молотков через каждые 144 ч. работы.

Центробежные дробилки серии ДЦ имеют следующий принцип работы: исходный материал подается на вращающийся в горизонтальной плоскости ускоритель (ротор) и под действием центробежной силы по каналам в ускорителе вылетает в дробильную камеру, где ударяется о металлические отбойные плиты или материал. Лопатки ускорителя (ротора) и дробильная каме-

Таблица 1. Техническая характеристика вертикально-молотковой дробилки ВМД-105А

| Показатели | ВМД – 105 А |
|---|-----------------|
| Производительность, т/ч | До 60 |
| Крупность исходного продукта, мм | 30 |
| Степень дробления | 1,5–2,0 |
| Диаметр ротора, мм | 1055 |
| Окружная скорость ротора, м/с | 30-55 |
| Тип электродвигателя (мощность), кВт | АЕ03–1313 (160) |
| Габаритные размеры, мм: | |
| длина | 4234 |
| ширина | 1810 |
| высота | 2648 |
| Масса дробилки, т | 9,3 |
| Удельная металлоемкость, тчт ¹ | 155,0 |

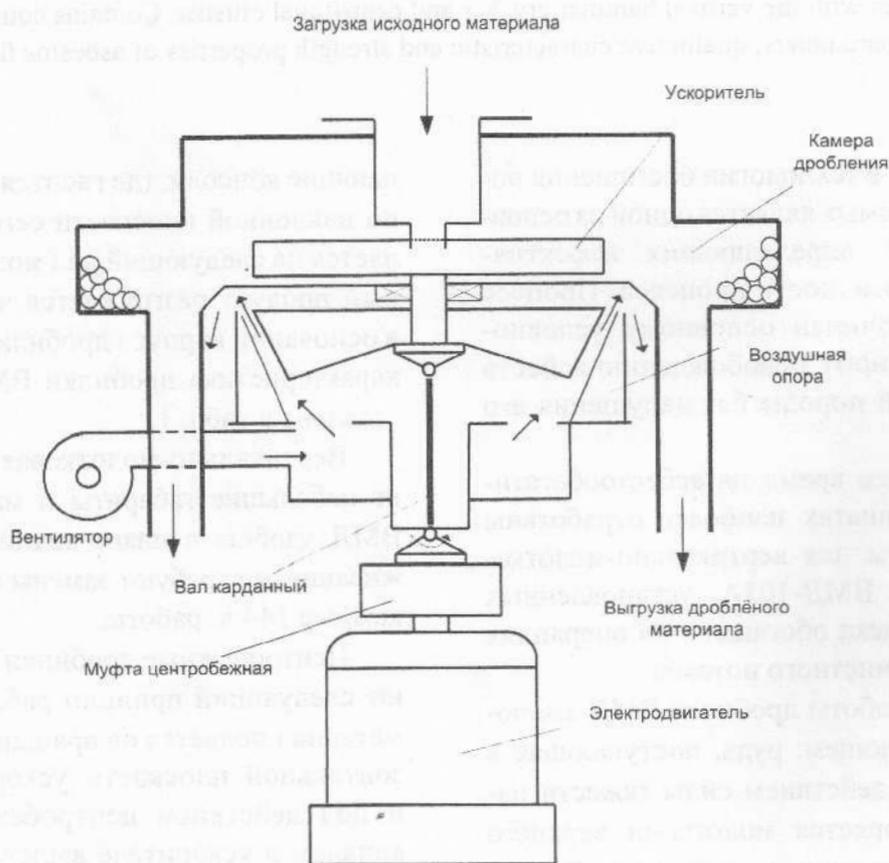


Рис. 1. Принципиальная схема центробежной дробилки на воздушной опоре

ра самофутеруются частицами материала, что позволяет значительно уменьшить износ рабочих органов. Принципиальная схема центробежных дробилок НПО «Центр» (г. Минск) приведена на рис. 1.

Отличительной чертой дробилок ДЦ является отсутствие подшипниковых узлов на валу ускорителя. Ускоритель поддерживается в рабочем состоянии на воздушной подушке, создаваемой специальным вентилятором. Оригинальный опорный узел вращения позволил исключить традиционные подшипники скольжения и, как следствие, систему смазки. Это одновременно обеспечивает работу дробилок при значительных изменениях перераспределения масс и низкую чувствительность к дисбалансам [1].

Производительность дробилок ДЦ в зависимости от типоразмера, изменяется от 10 (ДЦ-0,63) до 250 т/ч (ДЦ-1,6), а крупность исходного материала – от 30 до 80 мм.

Техническая характеристика центробежных дробилок ДЦ-1,25 и ДЦ-1,6 представлена в табл. 2.

Проверка дробления бедной асбестовой руды в дробилках центробежного типа

показала положительные результаты для использования в линиях получения кубовидного щебня. Однако возник вопрос о качестве вскрытого асбестового волокна в процессе дробления.

В целях определения технологических показателей работы центробежных дробилок для асбестовых руд, оценки качества вскрытого асбеста по фракционному составу и прочностным свойствам было проведено испытание в сравнении с дробилкой ВМД при работе на одной рудной шихте [2].

Исходная руда по вещественному составу характеризовалась преобладанием апоперидотитовых серпентинитов (70 %) с волокном нормальной прочности. Коэффициент крепости по Протодюжкову 14,5.

Испытания дробилки ДЦ-0,4 с металлической отбойной плитой были проведены на базе ЗАО «Урал-Омега» в г. Магнитогорске. Параметры работы дробилки ДЦ определялись скоростью вращения ускорителя (ротора) от 40 до 80 м/с, максимальной крупностью куска исходного продукта 20 мм, производительностью по исходному продукту 2 т/ч.

Таблица 2. Техническая характеристика центробежных дробилок ДЦ-1,25 и ДЦ-1,6

| Показатели | ДЦ-1,25 | ДЦ-1,6 |
|---|----------------------|----------------------|
| Производительность, т/ч | 80ч110 | 150ч320 |
| Крупность исходного продукта, мм | 30ч50 | 70 |
| Диаметр ротора, м | 1,25 | 1,6 |
| Скорость вращения ускорителя, м/с | 30–120 | |
| Тип электродвигателя (мощность), кВт | 130–220 | 185–345 |
| Габаритные размеры, мм длина ширина высота | 3200 2800 3000 | 3700 3200 3600 |
| Масса дробилки, т | 10,00 | 11,00 |

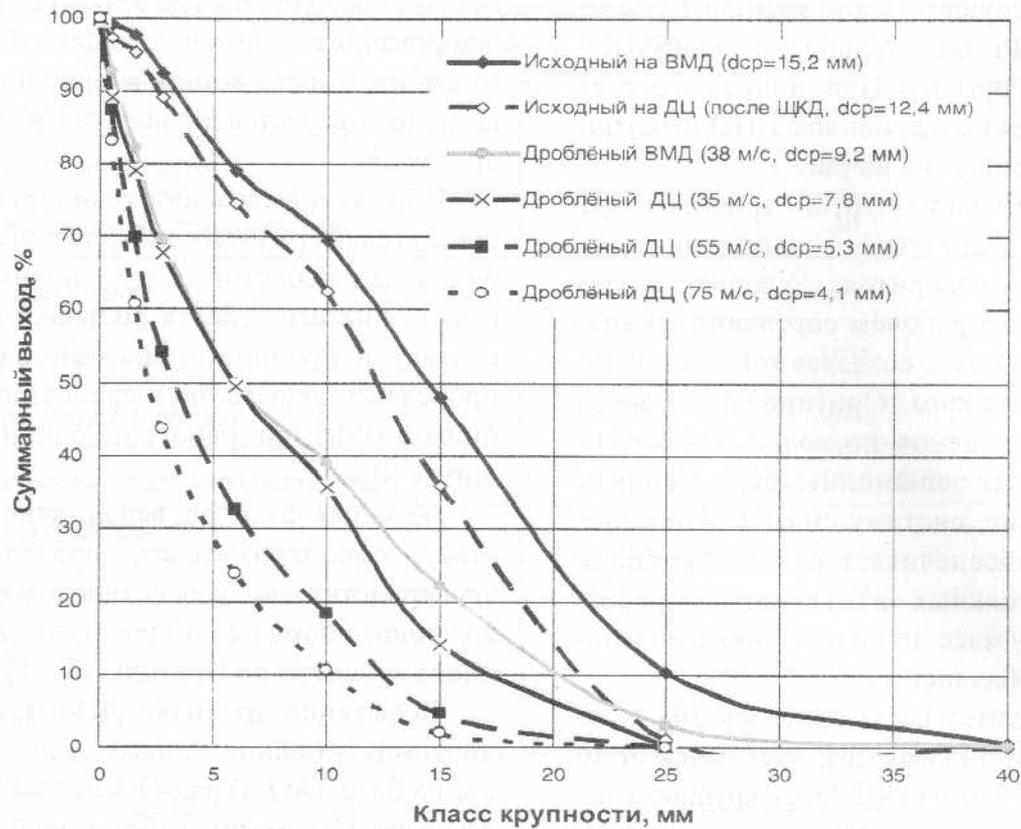


Рис. 2. Характеристика крупности исходного продукта и продуктов дробления на ВМД и ДЦ при разной скорости вращения ускорителя

Таблица 3. Результаты сравнения технологических показателей и качества вскрытого волокна в дробленом продукте ВМД и ДЦ-0,4

| Показатели | Дроблёный продукт | | Изменения |
|---|-------------------|-----------------|-------------|
| | ВМД (38 м/с) | ДЦ-0,4 (75 м/с) | |
| Вскрытие, % | 24,6 | 55,3 | В 2,2 раза |
| Степень дробления | 1,6 | 3,0 | В 1,9 раза |
| Массовая доля асбеста кл.+1,35 мм в свободном волокне (к.а.), % | 51,0 | 59,3 | +8,3 абс. % |
| Массовая доля фракций (ПК-2А), %: | | | |
| +1,18 мм | 26,4 | 31,6 | +5,2 абс. % |
| -0,075 мм | 51,4 | 48,4 | -3,0 абс. % |

Максимальная крупность куска исходного продукта для ВМД составила 40 мм, поэтому для испытаний на ДЦ-0,4 требовалась предварительная подготовка, которая заключалась в выделении класса +20 мм и уменьшении крупности куска в щековой дробилке.

Характеристика крупности исходного продукта и продуктов дробления на ВМД и ДЦ представлена на рис. 2.

Средний диаметр частиц в дробленном продукте ВМД составил 9,2 мм, в центробежной дробилке ДЦ-0,4 по мере увеличения скорости вращения ускорителя с 35 до 75 м/с средний диаметр частиц уменьшился с 7,8 до 4,1 мм. Исходя из этого можно отметить, что на центробежной дробилке ДЦ-0,4 получен более мелкий продукт. В дробленном продукте ДЦ содержание класса –5 мм достигло 60–70 %, а в дробленном продукте ВМД – 45 %.

Вскрытие асбеста в дробленном продукте ВМД составило 24,6 %, что находится на уровне дробленого ДЦ при скорости вращения ускорителя 35 м/с – 24,1 % (рис. 3). С увеличением скорости вращения ускорителя до 75 м/с вскрытие асбеста возрастает до 55,3 %, или в 2,2 раза в сравнении с ВМД.

Прирост асбеста после дробления на ВМД был равен 10,6 %, после ДЦ в зависимости от режима дробления – от 0,0 до 4,0 %.

Качественная характеристика волокна

по основному сити +1,35 мм и фракционному составу приведена на рис. 4.

Массовая доля свободного волокна кл.+1,35 мм в дробленном продукте ВМД составила 51,0 %, в дробленном продукте ДЦ-0,4 при увеличении скорости вращения ускорителя с 35 до 75 м/с – 55,3–59,3 % (рис. 4, а). Таким образом, на всех режимах дробления ДЦ-0,4 массовая доля асбеста кл.+1,35 мм в свободном волокне дробленного продукта была выше на 4,3–10,5 %, чем в дробленном продукте ВМД.

Аналогичная ситуация просматривается по фракционному составу. Массовая доля фр.+1,18 мм в свободном волокне дробленного продукта ВМД и ДЦ-0,4 (35 м/с) находится на одном уровне – 26,4 %, с повышением скорости вращения ускорителя до 75 м/с увеличивается до 31,6, или на 5,2 % (рис. 4, б).

Массовая доля фр.–0,075 мм в свободном волокне дробленного продукта ДЦ-0,4 (75 м/с) в сравнении с ВМД составляет 48,4 % против 51,4 %, что ниже на 3,0 % (рис. 4, в).

Таким образом, свободное (вскрытое) волокно дробленного продукта ДЦ-0,4 характеризуется лучшим качеством в сравнении с ВМД: по массовой доле асбеста кл.+1,35 мм выше на 4,3–8,3 %, по фр.+1,18 мм выше на 5,2–5,4 % и фр.–0,075 мм ниже на 2,7–3,0 %.

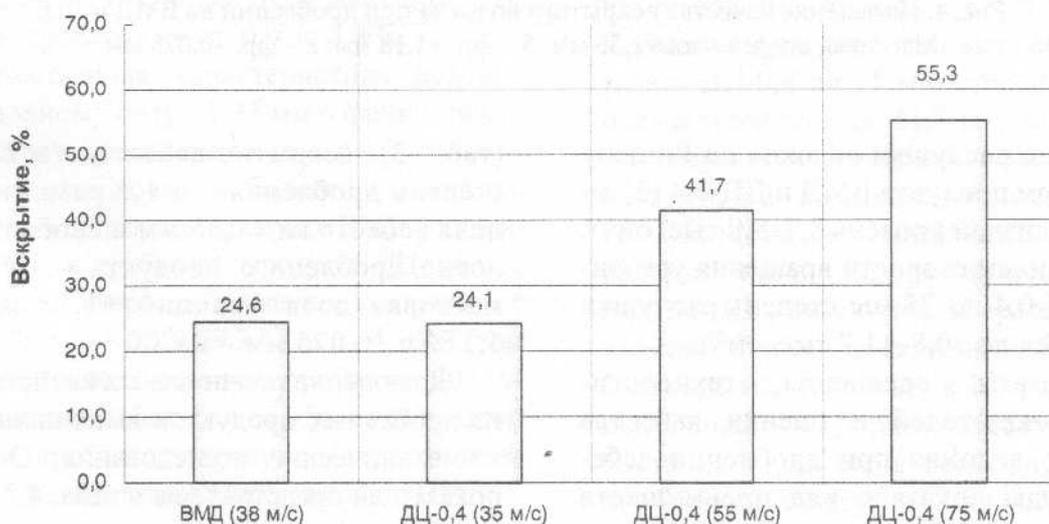


Рис. 3. Вскрытие асбеста по результатам дробления на ВМД и ДЦ

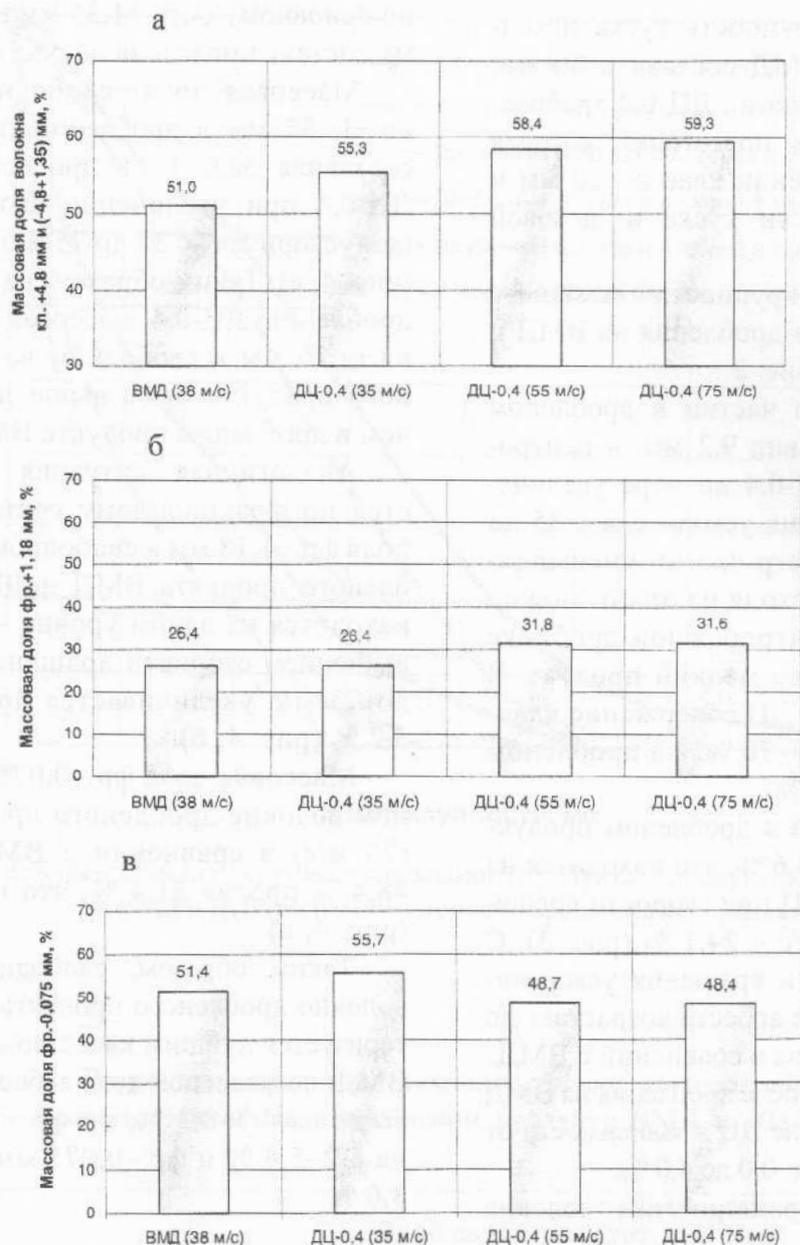


Рис. 4. Изменение качества вскрытого волокна при дроблении на ВМД и ДЦ. Массовая доля: а – кл.+1,35 мм; б – ф.р. +1,18 мм; в – ф.р. -0,075 мм

Степень распушки волокна по Ригдену в дробленном продукте ВМД и ДЦ-0,4 (35 м/с) имеет близкий уровень 8,7–9,9 тыс. см²/г. С увеличением скорости вращения ускорителя в ДЦ-0,4 до 75 м/с степень распушки повышается до 10,8–11,7 тыс. см²/г.

Результаты сравнения технологических показателей и оценки качества вскрытого волокна при дроблении асбестовой руды показали ряд преимуществ дробления на ДЦ при скорости вращения ускорителя 75 м/с в сравнении с ВМД

(табл. 3): вскрытие асбеста – в 2,2 раза, степень дробления – в 1,9 раза, массовая доля асбеста кл.+1,35 мм в свободном волокне дробленного продукта – на 8,3 %, массовая доля фракций +1,18 мм – на 5,2 % и -0,075 мм – на 3,0 %.

Для оценки прочностных свойств волокна дробленных продуктов выполнены физико-механические исследования. Основные показатели представлены в табл. 4.

Средний диаметр частиц в дробленном продукте ВМД составил 9,2 мм, в центро-

Таблица 4. Основные физико-механические показатели волокна

| Продукт | Высота Экзоэффекта, мм | Наименьшее значение логарифмического декремента затухания колебаний водной суспензии асбеста |
|-----------------------|------------------------|--|
| Исходный | 30 | 0,06 |
| Дробленый ВМД | 30 | 0,11 |
| Дробленый ДЦ (35 м/с) | 24 | 0,06 |
| Дробленый ДЦ (55 м/с) | 31 | 0,13 |
| Дробленый ДЦ (75 м/с) | 30 | 0,12 |

бежной дробилке ДЦ-0,4 по мере увеличения скорости вращения ускорителя с 35 до 75 м/с уменьшился средний диаметр частиц с 7,8 до 4,1 мм. Исходя из этого можно отметить, что на центробежной дробилке ДЦ-0,4 получен более мелкий продукт. В дробленном продукте ДЦ содержание класса -5 мм составляет 60-70 %, а в дробленном продукте ВМД – 45 %.

Вскрытие асбеста в дробленном продукте ВМД составило 24,6 %, что находится на уровне дробленого ДЦ при скорости вращения ускорителя 35 м/с – 24,1 % (рис. 3). С увеличением скорости вращения ускорителя до 75 м/с вскрытие асбеста увеличивается до 55,3 %, или в 2,2 раза в сравнении с ВМД.

Прирост асбеста после дробления на ВМД был равен 10,6 %, после ДЦ в зависимости от режима дробления – от 0,0 до 4,0 %.

Качественная характеристика волокна по основному сити +1,35 мм и фракционному составу приведена на рис. 4.

Массовая доля с вободного волокна кл. +1,35 мм в дробленном продукте ВМД составила 51,0 %, в дробленном продукте ДЦ-0,4 при увеличении скорости вращения ускорителя с 35 до 75 м/с – 55,3–59,3 % (рис. 4, а). Таким образом, на всех режимах дробления ДЦ-0,4 массовая доля асбеста кл.+1,35 мм в свободном волокне дробленого продукта была выше на 4,3-10,5 %, чем в дробленном продукте ВМД.

Аналогичная ситуация просматривается по фракционному составу. Массовая

доля фр.+1,18 мм в свободном волокне дробленого продукта ВМД и ДЦ-0,4 (35 м/с) находится на одном уровне – 26,4 %, с повышением скорости вращения ускорителя до 75 м/с увеличивается до 31,6, или на 5,2 % (рис. 4, б).

Массовая доля фр.–0,075 мм в свободном волокне дробленого продукта ДЦ-0,4 (75 м/с) в сравнении с ВМД составляет 48,4 % против 51,4 %, что ниже на 3,0 % (рис. 4, в).

Таким образом, свободное (вскрытое) волокно дробленого продукта ДЦ-0,4 характеризуется лучшим качеством в сравнении с ВМД: по массовой доле асбеста кл.+1,35 мм выше на 4,3–8,3 %, по фр.+1,18 мм выше на 5,2–5,4 % и фр.–0,075 мм ниже на 2,7–3,0 %.

Степень распушки волокна по Ригдену в дробленном продукте ВМД и ДЦ-0,4 (35 м/с) имеет близкий уровень – 8,7–9,9 тыс. см²/г. С увеличением скорости вращения ускорителя в ДЦ-0,4 до 75 м/с степень распушки повышается до 10,8–11,7 тыс. см²/г.

Результаты сравнения технологических показателей и оценки качества вскрытого волокна при дроблении асбестовой руды показали ряд преимуществ дробления на ДЦ при скорости вращения ускорителя 75 м/с в сравнении с ВМД (табл. 3): вскрытие асбеста – в 2,2 раза, степень дробления – в 1,9 раза, массовая доля асбеста кл.+1,35 мм в свободном волокне дробленого продукта – на 8,3 %, массовая доля фракций + 1,18 мм – на 5,2 % и –0,075 мм – на 3,0 %.

Для оценки прочностных свойств волокна дробленых продуктов выполнены физико-механические исследования. Основные показатели представлены в табл. 4.

Высота экзоэффекта, определенная методом термического анализа, характеризует качество волокна, величина наименьшего логарифмического декремента затухания водной суспензии асбеста методом крутильных колебаний позволяет оценить прочностные свойства волокна.

Качество и прочность волокна дробленых продуктов ВМД и ДЦ (55 и 75 м/с) находятся на одном уровне: высота экзоэффекта 30–31 мм, величина наименьшего декремента затухания водной суспензии асбеста 0,11–0,12.

Таким образом, в результате центро-

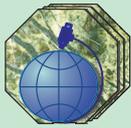
бежного дробления общее волокно не ухудшает свои прочностные свойства в сравнении с дробленным продуктом ВМД, а при режиме дробления ДЦ со скоростью вращения ускорителя 75 м/с имеет практически один уровень.

Обобщая представленный материал, можно отметить, что современные центробежные дробилки серии ДЦ позволяют повысить производительность в технологической линии и увеличить вскрытие асбеста с одновременным улучшением качества вскрытого волокна. Кроме того, они являются более экономичными по эксплуатационным затратам.

При установке дробилок ДЦ в условиях действующих асбестовых комбинатов необходимо подбирать типоразмер и оптимальный режим работы дробилки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шатайлов Ю. Л., А. Ю. Шатайлов. Испытания по дроблению на центробежной дробилке бедной асбестовой руды с целью получения фракционированного щебня, богатой асбестовой руды и тонковолокнистого асбеста из отходов грузового потока – вскрытия волокна: Отчет ЗАО «НПВЦ «УРАЛМЕХАНОБР-НАУКА-ИНЖИНИРИНГ». Екатеринбург, 2002. 52 с.
2. Кованова Л. И., Горбачева О. Ю. Проведение испытаний дробилки центробежной ДЦ для определения целесообразности применения в операции дробления № 6 рудного потока: Отчет НИИпроектасбест. Инв. № 4565. Асбест, 2006. 83 с.



ТОО «АСБЕСТОВОЕ ГРП»

- *Изучение геологического строения месторождения, горно-геологических и инженерно-геологических условий, гидрогеологических характеристик*
- *Разработка ТЭО, пересмотр и утверждение локальных технических проектов по горным работам*
- *Бурение скважин на все виды полезных ископаемых*
- *Геолого-маркшейдерское обслуживание при пользовании недрами*
- *Инженерно-геодезические и инженерно-геологические изыскания*
- *Проектные и строительно-монтажные работы*
- *Инжиниринговые услуги при выполнении работ для строительства*

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

1. Статьи в «Горно-геологический журнал» принимаются набранными в текстовом и электронном вариантах MS Word-97/2003 на русском языке.
2. Статьи должны сопровождаться аннотациями, содержащими не более 10 строк. Название статей и аннотаций к ним следует давать на государственном, русском и английском языках.
3. В верхней части статьи по центру строчными буквами жирным шрифтом без переноса - название статьи, на следующей строке полужирным шрифтом - инициалы и фамилии авторов, ученая степень, на следующей строке - полное название организации, где выполнена работа, город, страна.
4. Максимальный объем материала 7 страниц формата А4. Материал печатается через 1,5 интервала, шрифт №12, Times New Roman, выравнивание по ширине, красная строка 0,7 см. Поля - верхнее, нижнее, справа и слева - 2,5 см. Страницы статьи обязательно нумеруются.
5. Рукопись должна иметь индекс УДК.
6. В конце рукописи приводится список литературы, в тексте указываются номера ссылок в порядке цитирования. Таблицы (Word, Excel) и графические материалы (Jpg, Tiff) располагаются по тексту статьи. Графические материалы представляются в черно-белом варианте с условными обозначениями (крап). Цветные иллюстрации печатаются за отдельную плату.
7. Сданные в редакцию статьи авторам не возвращаются.

Адрес редакции:

110700 г. Житикара Костанайской обл., 4 мкр., д. 5а
ТОО «Асбестовое ГРП»

E-mail: nizamid@mail.ru, asbestgrp@mosk.ru

Контактные телефоны: 8 (314 35) 2-22-72; 2-35-60. Факс 8 (314 35) 2-22-72.

**Журнал
распространяется в
Республике Казахстан,
Российской Федерации**

**Ответственность
за достоверность
фактов и сведений,
содержащихся в
публикациях, несут
авторы**

**Ответственность
за содержание рекламы
несут рекламодатели**

**При перепечатке
материалов ссылка на
«Горно-геологический
журнал» обязательна**



ТОО "АГРП"
110700, г. Житикара, Республика Казахстан
тел./факс: 8 (31435) 2-22-72
e-mail: nizamid@mail.ru, asbestgrp@mosk.ru