

УДК 553.435:470.5

## МИНЕРАЛОГИЯ И УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ КОЛЧЕДАНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАЛА

**И. Викентьев**

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии,  
минералогии и геохимии Российской академии наук,  
Старомонетный пер., 35, 119017 Москва, РФ  
E-mail: viken@igem.ru*

Исполняется 65 лет с момента выхода монографии Е. Лазаренко “Минералогия медно-цинковых месторождений Среднего Урала” (Львов, 1947). Подчеркнуто, что она остается актуальной, и проанализировано современное состояние изученности колчеданных месторождений Урала. На основе новой систематики колчеданных месторождений Урала представлено их минералого-геохимическую характеристику. Большое внимание уделено описанию *РТХ*-условий минералообразования. Их реконструкцию проведено по флюидным включениям и минеральным геотермометрам (по составу сфалерита, самородного золота, пирротина, арсенопирита). Описано Au-Ag минералы руд.

*Ключевые слова:* минералогия, сульфиды, колчеданные месторождения, метаморфизм, золото, теллуриды, условия минералообразования, Урал.

В текущем году исполняется 65 лет с момента выхода блестящей монографии Евгения Константиновича Лазаренко “Минералогия медно-цинковых месторождений Среднего Урала” [8], не утратившей своей актуальности. Заняться изучением колчеданных месторождений Урала его вынудила война. С 1938 г. он был доцентом на кафедре минералогии Воронежского университета; в 1942 г. университет эвакуирован, и Е. Лазаренко переехал в Свердловск (ныне Екатеринбург), перейдя в Уральский филиал АН СССР. Он занялся геологическими и минералогическими исследованиями колчеданных руд, особое внимание уделяя цинковым рудам, что было инициативой руководства треста Уралцветметразведка. В 1944 г. после освобождения Западной Украины он переехал во Львов, где во Львовском университете им. И. Франко сначала возродил кафедру минералогии и минералогический музей, а в 1945 г. создал новый факультет – геологический. Здесь он еще несколько лет продолжал исследование собранных в 1943–1945 гг. коллекций руд колчеданных месторождений Урала, сосредоточив внимание, помимо описательной минералогии, на генезисе руд. В монографии он подробно охарактеризовал четыре рудных поля Среднего Урала: Сан-Дonato, Левиха, Карпушиха и Кузнечиха, в каждом из которых к тому времени разрабатывали по несколько колчеданных месторождений. Он впервые выполнил *систематическое описание* 52 минералов, создав для уральских месторождений этого типа кадастр, ставший на полвека наиболее полным. Помимо рудных, он детально описал нерудные минералы: десять ранее упоминавшихся (но рассматривавшихся совместно в общей рубрике “нерудные минералы”), и три новых – стильпномелан, турмалин и галлуазит. Важно, что в работе впервые охарактеризован

химический состав основных рудных минералов с определением в них элементов-примесей, причем это было сделано на представительном статистическом материале.

За прошедшие 65 лет количество обнаруженных колчеданных месторождений существенно возросло. На Среднем Урале они в основном отработаны, а Cu, Zn, Au и Ag, наряду с попутными элементами (Cd, Co, Ni, Se, Te, Hg, Ge, Tl, In, платиноиды), дают в основном южноуральские месторождения. Многие генетические вопросы продолжают обсуждать, а обогащение руд идет с большими потерями [4]. Определенные успехи достигнуты в познании условий минералообразования.

Мы использовали данные о температуре гомогенизации газовой-жидких включений минералов руд (аналитики – В. Прокофьев, В. Карпухина). Температуру минералообразования определяли также с помощью электрум-аргентит-пирит-сфалеритового геотермометра [4, 21]. Также использовали арсениопиритовую термо- и фугобарометрию, основу которой составляют данные по содержанию As в арсениопирите, находящемся в равновесии с пиритом, пирротинном и другими сульфидами [2, 15]. Для оценки летучести серы ( $f S_2$ ) и температуры в отдельных случаях использовали содержание Fe в пирротине [5]. Летучесть теллура ( $f Te_2$ ) находили с помощью электрум-гесситового геотермометра и анализа фазовых соотношений минералов в системе Au–Ag–Te [12]. Данные о летучести теллура получены также на основании анализа условий равновесия галенита с аланитом, при этом температуру и летучесть серы определяли с помощью других минералогических геотермометров [10], базирующихся на данных рентгеноспектрального микроанализа (РСМА).

**Общая характеристика руд.** На Урале преимущественно развиты Cu-Zn месторождения *уральского* типа (табл. 1, рис. 1), в рудах которых Cu преобладает над Zn: Гайское, Юбилейное, Подольское (Южный Урал), Сафьяновское (Средний Урал); реже Zn > Cu: Учалинское, Узельгинское (Южный Урал). Только месторождения этого типа относятся к разряду крупных (Гайское – суперкрупное) [20]. Мелкими являются колчеданно-полиметаллические месторождения (Cu-Zn-Pb-Ag-баритовые), приближающиеся к типу *куроко*: Барсучий Лог, Джусинское, Александринское и золото-полиметаллические Баймакского района (Южный Урал), а также Cu-Co месторождения (*кипрский* тип): Пышминско-Ключевское (Средний Урал), Ивановское (Южный Урал).

Крупные тела слагают руды массивной текстуры, в их приконтактовых частях обычны полосчатые текстуры (включая сланцевато-полосчатую, линзовидно-полосчатую). Брекчиевидные руды образованы фрагментами существенно пиритовых агрегатов, сцементированных обогащенными халькопиритом и сфалеритом рудами. На многих слабо метаморфизованных месторождениях распространена колломорфная текстура. Среди руд вкрапленной текстуры преобладают прожилково-вкрапленные и гнездово-вкрапленные; в них пирит, халькопирит и сфалерит тесно ассоциируют с кварцем и подчиненными хлоритом и серицитом. Широко развиты в рудах структуры кристаллически-зернистые, замещения (коррозионная, петельчатая) и метаколлоидные. На регенерированных месторождениях Тарньерском и им. 50-летия Октября (местами также на Гайском, Сан-Донато) в рудах развиты метаморфогенные структуры (порфиروبластовая, симплектитовая, графическая и гнейсовидная). Главные минералы руд – это пирит (до 70–80 об. %), сфалерит и халькопирит, второстепенные – блеклая руда (теннантит-тетраэдрит), борнит, галенит, пирротин и магнетит (табл. 2).

Таблица 1

Типизация колчеданных месторождений Урала

Тип месторождения		Месторождения	Возраст
Медно-кобальтовый (пиритовый)		Ивановское, Дергамышское, Маукское, Пышминско-Ключевское	$O_3-S_1$
		Летнее, Осеннее, Левобережное, Весенне-Аралчинское	$D_1e_3$
Уральский (медно-цинковый)	$Cu \geq Zn$ (Au, Ag)	Сан-Дonato, Красногвардейское, Кабанское, Тарньер, Валенторское, Шемур	$O_3-S_1l_1$
		Комсомольское, Блява, Яман-Касы	$S_2ld-p$
		Сафьяновское, Гайское, Юбилейное, Бурибайское, Октябрьское, Подольское, Приорское, им. 50-летия Октября	$D_1e$
	$Zn > Cu$ (Au, Ag)	Учалинское, Узельгинское, Ново-Учалинское, Дегтярское, Сибайское, Камаган, Молодежное, Западно-Озерное, Таш-Яр, им. XIX партсъезда, Талганское	$D_2e_1$ ; $D_2e_3-gv_1$
	$Cu-Zn$ (Pb, Au, Ag)	Барсучий Лог, Джусинское, Александринское	$D_2e_1$ ; $D_2e_3$
	Баймакский (Ау-колчеданный)	Галкинское	$S_1l_1$
Бакр-Тау, Таш-Тау, Балта-Тау, Майское, Уваряж, Вишневское		$D_1e$	

Таблица 2

## Минеральный состав руд колчеданных месторождений Урала

Тип месторождения	Рудные минералы			
	главные	второстепенные	редкие	очень редкие
Cu-Co	Пирит, пирротин, халькопирит	Сфалерит <sup>1</sup> , магнетит <sup>1</sup> , марказит, пентландит, кобальтин	Кубанит, арсенопирит, теннантит, карролит, никелин, герсдорфит, макиनावит, виоларит аллоклазит, глаукодот, хромпикотит	Миллерит, молибденит, Со-пентландит, Ni-троит, аргентопентландит, раммельсбергит, крутовит, леллингит, саффлорит, мелонит, петцит, колорадоит, гессит, самородное золото (660–985) <sup>2</sup>
Уральский (медно-цинковый)	$Cu > Zn$	Пирротин <sup>1</sup> , теннантит <sup>1</sup> , борнит <sup>1</sup> , ковеллин <sup>1</sup> , магнетит <sup>1</sup> , гематит, арсенопирит, марказит, галенит	Алтаит, колорадоит, гессит, штютцит, вюртцит, раклиджит, тетрадимит, энаргит, халькозин, кубанит, самородное золото (710–975) <sup>2</sup> , акантит, Ag-бетехтинит, ильменит	Айкинит, аргентотетраэдрит, буланжерит, бурнонит, брейтгауптит, валлеириит, виттихенит, волинскит, германит, голдфиллит, гринокит, диафорит, ильваит, калаверит, козалит, колусит, креннерит, кюстелит, макиनावит, молибденит, монтбрейт, моусонит, мутманит,

Продолжение табл. 2

Тип ме-	Рудные минералы
---------	-----------------

сторож- дения	главные	второсте- пенные	редкие	очень редкие
Уральский (медно-цинковый)	Cu <sub>≥</sub> Zn			петцит, пираргирит, пирсеит, полибазит, самородное серебро, самородный висмут, самородный теллур, свинцовистый цумоит, сильванит, станноидит, теллуrowисмутит, фаматинит, фрейбергит, цумоит, штромейерит, эмпрессит
	Zn>Cu		Алтаит, гессит, штюццит, колорадоит, самородный теллур, энаргит, самородное золото (450–870) <sup>2</sup> , Ag-тетраэдрит, касситерит, рутил, халькозин	Акантит, антимонит, бетехтинит, буланжерит, валлериит, виттихенит, вольнскит, германит, голдфилдит, гринокит, калаверит, клаусталит, колусит, кубанит, молибденит, монтбрейит, муссонит, муассанит, петровскаит, петцит, пирсеит, реньерит, самородное серебро, самородный висмут, самородный рений, саффорит, станноидит, сульванит, теллуrowисмутит, тетрадимит, фрейбергит, штромейерит, эмпрессит, берндтит
	Cu-Zn	Теннантит, галенит, магнетит, борнит <sup>1</sup> , ковеллин <sup>1</sup> , гематит <sup>1</sup>	Пирротин, арсенопирит, самородное золото (720–780) <sup>2</sup> , ковеллин, халькозин, анилит, энаргит, станнин, Ag-тетраэдрит	Алтаит, гессит, германит, рейнерит, штромейерит, акантит, As-кобальтпентландит, макинавит, самородное серебро, самородное олово

**Минеральные парагенезисы колчеданных руд.** В первом приближении колчеданные руды месторождений Урала можно представить такими парагенетическими ассоциациями минералов:

- 1) *халькопиритовая* (пирит + халькопирит + сфалерит);
- 2) *пирротиновая* (пирротин + пирит + халькопирит + сфалерит);
- 3) *борнитовая* (пирит + борнит + халькопирит + сфалерит) [4, 9, 10].

Каждой из минеральных ассоциаций отвечает диапазон изменений термодинамических параметров ( $t$ ,  $f O_2$  и  $f S_2$ , pH и др.), соответствующий фации рудообразования или *рудной фации* (рис. 2), что понимают как сумму вещественных особенностей руды, которые характеризуют условия ее образования.

Окончание табл. 2

Тип ме-	Рудные минералы
---------	-----------------

сторож- дения	главные	второсте- пенные	редкие	очень редкие
Уральский золото- колче- данный	Пирит, халько- пирит, сфалерит, галенит	Теннантит <sup>1</sup> , борнит <sup>1</sup> , пирротин, ковеллин	Гессит, халькозин, герма- нит, молибденит, само- родное золото (410–890) <sup>2</sup>	Кервеллит, пираргирит, стефанит, самородное серебро, ютенбогардтит, петровскаит, кюстелит, аргентотетраэдрит (> 25 мас. % Ag), фрейбергит (10–25 мас. % Ag), Ag-содержащий тетраэдрит (3–10 мас. % Ag), пиростильпнит, прустит, акантит, полибазит, ялпа- ит, штрмейерит

<sup>1</sup> В некоторых рудных телах или их фрагментах – главные минералы.

<sup>2</sup> Пробность самородного золота.

Детализации условий образования ассоциаций минералов достигают путем выделения внутри каждой фации *субфаций*. В качестве индикаторов субфаций рассматривают минералы As: энаргит, блеклую руду, арсенопирит и лёллингит [4, 10].

Основной объем руд сложен парагенетическими сульфидов *халькопиритовой фации*. Появление пирротиновых, как и борнитсодержащих руд, вероятно, в основном было связано с крупными тектоническими подвижками, внедрением интрузий и другими геологическими событиями, которые приводили к термическим и гидротермально-метасоматическим преобразованиям руд [18].

Арсенопирит встречается в рудах пирротиновой и частично халькопиритовой фации, в условиях халькопиритовой фации он устойчив при относительно низких значениях летучести серы и при ее повышении (а также при снижении температуры) его замещает блеклая руда [4]. В рудах халькопиритовой фации в качестве аксессуарных развиты самородное золото и ряд теллуридов (в ассоциации с халькопиритом, блеклой рудой и галенитом [4, 22]), который сближает их с золото-сульфидно-кварцевыми месторождениями [7]. В связи с теллуридами в обогащенных медью участках наблюдаются сульфотеллуриды, включая сульфосоли Ag и Bi.

*Пирротиновая фация* рудообразования проявляется обычно в условиях регионально-го (Маук) и контактового (месторождения им. 50-летия Октября, Летнее, Ново-Шемурское, Тарньерское) метаморфизма [4, 9].

*Борнитовая фация* подразделена на блеклорудную и энаргитовую субфации (см. рис. 2). Энаргит обнаружен в дигенитсодержащих борнитовых рудах месторождений Молодежное и Карабашское. Он обычно развивается по теннантиту; Е. Лазаренко [8] описал их в борнитовых рудах месторождений Сан-Донато и Левиха. Именно в этой работе впервые детально охарактеризованы борнитовые руды, ставшие в настоящее время объектом пристального внимания [1].

Особенностью этих руд является богатый набор аксессуарных минералов Ag, Ge, Sn и других элементов, часть которых впервые была описана на Урале в Гайском, Молодежном и Карабашском месторождениях.



Рис. 1. Схема расположения колчеданных месторождений Урала.

**Минералы благородных металлов колчеданных руд.** Собственные минералы Au и Ag в описываемых рудах представлены преимущественно самородным золотом и теллуридами. Самородное золото обычно входит в состав поздней минеральной ассоциации, наряду с галенитом, теннантитом, в некоторых месторождениях – борнитом и более редкими колорадоитом, Ag-тетраэдритом, алтаитом и теллуридами Au и Ag (калаверит, креннерит, петцит, сиванит, мутманит, монтбрейит, волюнскит) [19, 22]. Эта ассоциация характерна для богатых переотложенных руд, развиваясь как в виде крупных выделений, так и образуя “микрорагенезис” в эпигенетических трещинах в агрегатах и монокристаллах пирита. Доля собственной минеральной формы золота в рудах невелика и растет с увеличением концентрации Au; преобладающая его часть представлена тонкодисперсным золотом (вероятно, связанным в сульфидах), на что могут указывать данные фазового анализа [4].

Чаще всего *самородное золото* образует ксеноморфные выделения по контактам халькопирита, блеклой руды, борнита; изредка встречаются его сростания с Au-Ag теллуридами. В первом приближении это серия непрерывных твердых растворов золота и серебра от чистого Au до электрума [3]. Примеси Fe, Te, Bi, Sb и другие незначительны.

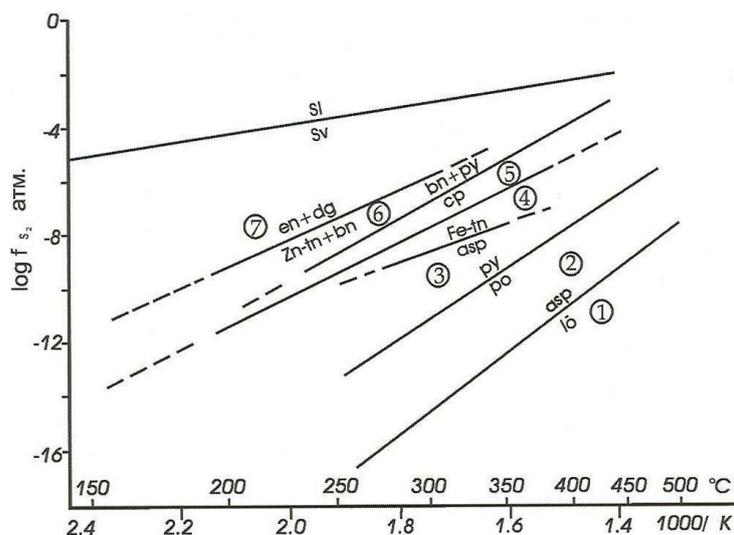


Рис. 2. Диаграмма летучесть серы–температура реакций сульфидизации минералов колчеданных месторождений [4].

Субфации (цифры в кружочках): 1 – лёллингит-пирротиновая; 2 – арсенопирит-пирротиновая; 3 – арсенопирит-халькопиритовая; 4 – халькопирит-блеклорудная; 5 – энаргит-халькопиритовая; 6 – борнит-блеклорудная; 7 – энаргит-дигенитовая. Минералы: py – пирит; bn – борнит; sp – халькопирит; po – пирротин; asp – арсенопирит; dg – дигенит; tn – теннантит; lō – лёллингит; en – энаргит; S<sub>l</sub> и S<sub>v</sub> – жидкая и газообразная сера.

Практически постоянно, но в невысоких концентрациях (обычно 0,1–0,5 мас. %) присутствуют примеси Cu (до 3,3 мас. %) и Hg (до 7,85 мас. %). Ртутистое золото и электрум, как правило, не содержат Cu, а медистое золото с примесью меди не содержит Hg. В пирротинсодержащих рудных телах (Тарньерское месторождение) самородное золото присутствует в виде включений в сфалерите, халькопирите, пирротине. В отличие от других типов руд, здесь состав его чаще приближается к электруму, что свидетельствует о низкой летучести серы в период кристаллизации самородного золота [5]. Кроме электрума, в виде микроскопических просечек и прожилков встречается кюстелит (рис. 3).

Для каждого отдельно взятого месторождения установлено широкий спектр его составов, достигающий несколько десятков массовых процентов золота. Если проанализировать всю совокупность анализов [3], то окажется, что преобладают два состава: **Au<sub>3</sub>Ag**, на чем настаивал И. Некрасов [11], и **Au<sub>2</sub>Ag**, что предполагала Н. Петровская [13]. В месторождениях уральского типа наиболее крупные выделения самородного золота установлены там, где руды испытали существенный динамометаморфизм (в том числе на Гайском и Карабашском). В умеренно и слабо преобразованных рудах (Узельгинское, Учалинское, Сафьяновское и др.) зерна самородного золота являются весьма редкими и мелкими (обычно до 10 мкм); более крупные выделения появляются в локальных участках наложения поздних гидротермальных процессов, выраженных в формировании руд существенно полиметаллического состава, и в кварц- или барит-сульфидных прожилках.

Выделения *Au-Ag теллуридов* в рудах приурочены к участкам рудных тел с повышенным содержанием Au и Ag. Их распределение в пределах рудных тел определено процессами собирательной перекристаллизации.

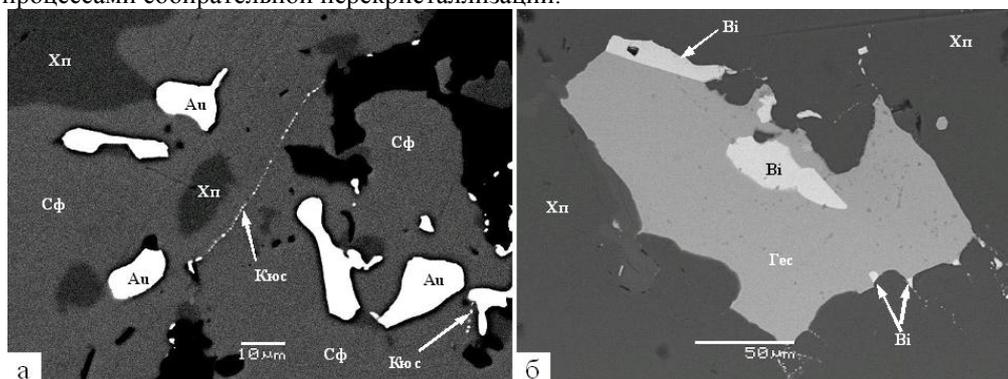


Рис. 3. Редкие минералы руд Тарньевского месторождения:

*а* – скопление кристаллов самородного золота (Au) в существенно сфалеритовой (Сф) с подчиненным халькопиритом (Хп) руде вблизи контакта с метадиабазами. Помимо самородного золота (в основном, электрум AuAg) присутствуют прожилковидные скопления кюстелита (Кюс). Образец Тн-1060-166.4; *б* – включения самородного висмута (Bi) по краям и внутри более крупного выделения гессита (Гес) в халькопирите. Образец Тн-27-5. Изображения в обратно-рассеянных электронах.

Теллуриды, как и самородное золото, развиваются совместно с халькопиритом, галенитом, сфалеритом и теннантитом, твердость которых меньше пирита (преобладающего по объему минерала руд и в то же время хрупкого), и поэтому они более подвержены пластическим деформациям и сопровождающим их процессам растворения под давлением и переотложения. В связи с этим теллуриды нередко приурочены к верхним частям рудных линз, образованных поздними тектоническими процессами [22].

Единичные находки *Au-Ag сульфидов* ютенбогардита  $Ag_3AuS_2$  и петровскаита  $AgAuS_2$  сделаны только на двух уральских месторождениях – Учалинском [3] и новом Галкинском.

**Условия минералообразования.** Рудные залежи изученных колчеданных месторождений формировались в два этапа. *Ранний этап (синвулканический)* – формирование происходило комбинированным вулканогенно-осадочным и метасоматическим способом в условиях пологого залегания рудовмещающих вулканогенных толщ. *Поздний этап (синметаморфический)* протекал в условиях аналогичного или слабо наклоненного положения вмещающих пород; в условиях крутого залегания вмещающих пород (Гайское, Учалинское, Сан-Дonato); в контактовом ореоле крупных гранитоидных интрузий (Тарньевское, Таш-Яр).

Исходя из оценок по минеральным геотермометрам [3, 4, 10] и флюидным включениям (табл. 3), температура образования руд на большинстве месторождений варьировала в пределах 350–110 °С.

На наиболее метаморфизованных месторождениях температура минералообразования достигала: Карабашское – 430–543 °С, Тарньевское – 470 [4, 14], Гай – 365–446, Сан-Дonato – 430, Дегтярское – 425–465 [3, 4], Таш-Яр – 440 °С [16].

В поствулканическое время месторождения испытали в разной степени сильные тектонические подвижки взбросо-сдвигового характера и метаморфизм (табл. 4). Податли-

вые процессам тектонического течения околорудно-измененные породы вместе с заключенными в них крупными линзами сульфидных руд подверглись существенному уплощению, будинажу, локальной приразломной складчатости. Часть химических элементов руд была перераспределена гидротермально-метаморфическими растворами и путем диффузии во флюидонасыщенном межзерновом пространстве.

Установлено признаки вторичного гидротермального и синметаморфического перераспределения золота с “очищением” от Au рудообразующих сульфидов и укрупнением выделений самородного золота (Учалинский, Александринский, Гайский районы).

Таблица 3

Параметры гидротермальных флюидов для недеформированных колчеданных месторождений Урала (с использованием данных [6, 17])

Возраст	Тип месторождений	Месторождение	$T_{\text{гом}}$ , °C	$C_{\text{солей}}$ , % экв. NaCl	Катионы
$S_{1-2}$	Cu>Zn	Шемур	178–119	9,3–1,2	Mg, Na Na (+Mg)
		Яман-Касы [17], Валенторское	290–110	16,9–0,6	Na, Mg Na (+Mg) Na
	Au-колчеданный	Галкинское	170–114	4,0–1,4	Na, Mg Na (+Mg)
$D_{1e3}$	Cu-Co	Летнее, Левобережное	305–182		
$D_{2e-gv_1}$	Cu $\geq$ Zn	Сафьяновское, Подольское	337–104	15,3–0,3	Na Na (+Mg)
	Zn>Cu	Учалинское, Узельгинское, Ново-Учалинское, Чебачье, Западно-Озерное	375–97	7,8–0,3	Na K Na (+K) Na (+Ca) Na (+Mg)
	Cu-Zn	Александринское	340–160		
	Au-колчеданный	Таш-Тау [6], Уваряж	239–103	8,0–0,5	Mg (+Na) Na (+Mg) Na

Увеличение концентрации Au в самородном золоте от слабо преобразованных (Сафьяновское, месторождения Баймакского района) к интенсивно метаморфизованным месторождениям Урала (Гай, Карабаш) также можно объяснить повышением температуры гидротермально-метаморфического преобразования колчеданных руд [3].

По данным электрум-сфалеритового геотермометра значения  $\lg f S_2$  в большинстве изученных ассоциаций колеблются от –12 до –5 при общем размахе от –16 до –3. Температура заметно различна: для блеклорудной борнитовой ассоциации она составляет 150–360 °C, для блеклорудной халькопиритовой она обычно выше – 130–450 °C, а для арсенопиритовой максимальна – 250–520 °C.

Летучесть теллура широко варьировала для преобладающей температуры минералообразования порядка 300 °C:  $\lg f Te_2 = (-16)–(-6)$ ; со снижением температуры до 100 °C она постепенно уменьшалась до (–20)–(–15) [4].

Для регенерированного Тарньерского месторождения образование поздней Au-Ag-Pb-Bi-Te минерализации (галенит, самородное золото, самородный висмут, гессит, алта-

ит, цумоит [14], раклиджит и волинскит) шло при  $t = 440\text{--}455\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\log fS_2$  от  $-5,5$  до  $-5,8$ ,  $\log fTe_2$  от  $-9,1$  до  $-8,8$ .

Таблица 4  
Условия метаморфического преобразования колчеданных месторождений Урала

Степень преобразования	Температура пика метаморфизма, $^\circ\text{C}$	Месторождения
Слабо преобразованные	100–200	Галкинское, Комсомольское, Яман-Касы, Блява, Сафьяновское, Султановское
	150–250 (300)	Валенторское, Шемурское, Ново-Шемурское, Левихинское, Юбилейное, Подольское, Майское, Вишневское, Учалинское, Сибайское и др.
Умеренно метаморфизованные	250–450 (500)	Ивановское, Дергамышское, Гайское, Октябрьское, Уваряж, Дегтярское, Узельгинское, Сан-Дonato, Красногвардейское, Кабанское и др.
Сильно метаморфизованные	350–600	Карабашское, Маукское
Регенерированные	350–700	Тарньер, Таш-Яр, им. 50-летия Октября

За истекшие более чем полвека после выхода работы [8] список минералов колчеданных месторождений Урала возрос почти в пять раз (из них две третьих – гипогенные). В то же время эти объекты (включая зоны их окисления), эксплуатируемые уже 300 лет, оставляют много вопросов перед изучающими их минералогами, одним из самых выдающихся среди которых был Е. Лазаренко. Наиболее важные из этих вопросов касаются условий происхождения и преобразования колчеданных руд, что составляет предмет созданной ученым отрасли знания – генетической минералогии.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Благородные и редкие металлы в борнитовых рудах колчеданных месторождений Урала / В. П. Молошаг, И. В. Викентьев, Т. Я. Гуляева, С. Г. Тесалина // Зап. Рос. минерал. об-ва. – 2005. – Ч. 134, № 3. – С. 53–69.
2. Бортников Н. С. О достоверности арсенопиритового и арсенопирит-сфалеритового геотермометров / Н. С. Бортников // Геология рудных месторождений. – 1993. – № 2. – С. 177–191.
3. Викентьев И. В. Условия формирования и метаморфизм колчеданных руд / И. В. Викентьев. – М. : Научный мир, 2004. – 340 с.
4. Викентьев И. В. Формы нахождения и условия концентрирования благородных металлов в колчеданных рудах Урала / И. В. Викентьев, В. П. Молошаг, М. А. Юдовская // Геология рудных месторождений. – 2006. – Т. 48, № 2. – С. 91–125.
5. Воган Д. Химия сульфидных минералов / Д. Воган, Дж. Крейг. – М. : Мир, 1981. – 576 с.
6. Зайков В. В. Параметры гидротермальных растворов, формировавших золото-колчеданно-полиметаллические месторождения Западно-Магнитогорской палеоостровной дуги (Урал) / В. В. Зайков, Н. Н. Анкушева // 13 междунар. конф. по термобарогеохимии : материалы. – Т. 2. – М. : ИГЕМ РАН, 2008. – С. 41–44.

7. Золоторудные гиганты России и мира / [М. М. Константинов, Е. М. Некрасов, А. А. Сидоров и др.]. – М. : Научный мир, 2000.
8. Лазаренко Е. К. Минералогия медно-цинковых месторождений Среднего Урала / Е. К. Лазаренко. – Львов : Изд-во Львов. ун-та, 1947. – 208 с.
9. Медноколчеданные месторождения Урала. Условия формирования. – Екатеринбург : УрО РАН, 1992. – 308 с.
10. Молошаг В. П. Использование состава минералов для оценки физико-химических условий образования колчеданных руд Урала / В. П. Молошаг // Литосфера. – 2009. – № 2. – С. 28–40.
11. Некрасов И. Я. Геохимия, минералогия и генезис золоторудных месторождений / И. Я. Некрасов. – М. : Наука, 1991. – 302 с.
12. Парагенезисы теллуридов золота и серебра в золоторудном месторождении Флоренсия (Республика Куба) / Н. С. Бортников, Х. Крамер, А. Д. Генкин [и др.] // Геология рудных месторождений. – 1988. – Т. 30, № 2. – С. 49–61.
13. Петровская Н. В. Самородное золото / Н. В. Петровская. – М. : Наука, 1973. – 347 с.
14. Самородный висмут, цумоит и свинцовистая разновидность цумоита из Тарньерского медно-цинково-колчеданного месторождения (Северный Урал) / Е. В. Белогуб, В. П. Молошаг, К. А. Новоселов, В. А. Котляров // Зап. Рос. минерал. об-ва. – 2010. – № 6. – С. 108–119.
15. Скотт В. Д. Использование сфалерита и арсенопирита для оценки температур и активностей серы в гидротермальных месторождениях / В. Д. Скотт // Физико-химические модели петрогенеза и рудообразования. – Новосибирск : Наука, 1984. – С. 41–49.
16. Условия формирования цинково-колчеданного месторождения Таш-Яр, Южный Урал / И. В. Викентьев, В. С. Карпухина, Л. П. Носик, Н. И. Еремин // Докл. РАН. – 2009. – Т. 428, № 5. – С. 633–636.
17. Физико-химические параметры магматических и гидротермальных процессов на колчеданном месторождении Яман-Касы, Южный Урал / В. А. Симонов, С. В. Ковязин, Е. О. Тереня [и др.] // Геология рудных месторождений. – 2006. – Т. 48, № 5. – С. 423–438.
18. Ярош П. Я. Структуры руд и история формирования рудных агрегатов Узельгинского месторождения / П. Я. Ярош, Ф. П. Буслаев. – Свердловск : УНЦ АН СССР, 1985. – 100 с.
19. Gold and PGE in massive sulfide ore of the Uzelginsk deposit, Southern Urals, Russia / I. V. Vikentyev, M. A. Yudovskaya, A. V. Mokhov, A. L. Kerzin, A. I. Tsepin // Canadian Mineralogist. – 2004. – Vol. 42. – P. 651–665.
20. Prokin V. A. Massive copper-zinc sulphide deposits in the Urals / V. A. Prokin, F. P. Buslaev // Ore Geol. Rev. – 1999. – Vol. 14. – P. 1–69.
21. Shikazono N. A comparison of temperatures estimated from the electrum-sphalerite-pyrite-argentite assemblage and filling temperatures of fluid implications from epithermal Au-Ag vein-type deposits in Japan / N. Shikazono // Econ. Geol. – 1985. – Vol. 80, N 5. – P. 1415–1424.
22. Vikentyev I. V. Precious metal and telluride mineralogy of large volcanic-hosted massive sulfide deposits in the Urals / I. V. Vikentyev // Mineralogy and Petrology. – 2006. – Vol. 87. – P. 305–326.

Стаття: надійшла до редакції 14.05.2012  
прийнята до друку 29.05.2012

## MINERALOGY AND FORMATION CONDITIONS OF THE URALS VOLCANOGENIC MASSIVE SULPHIDE DEPOSITS

I. Vikentjev

*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of RAS,  
35, Staromonetnyi side-street, 119017 Moscow, Russia  
E-mail: viken@igem.ru*

Sixty five years have passed from the moment of publication of Ye. Lazarenko monograph "Mineralogy of Copper-Zinc Deposits of Middle Urals" (Lvov, 1947), and this book still remains actual. The modern state of a level of study of volcanogenic massive sulphide (VMS) deposits of the Urals is analyzed. Mineralogy-geochemical characteristics of VMS deposits are presented in the article on the basis of its new systematic. The major attention is given to the description of *PTX*-conditions of ore formation. Its reconstruction is spent based on fluid inclusion study and mineral geothermometers (chemical composition of sphalerite, native gold, pyrrhotite, and arsenopyrite). Au-Ag minerals of ores are described.

*Key words:* mineralogy, sulphides, volcanogenic massive sulphide deposits, metamorphism, gold, tellurides, conditions of ore formation, Urals.

## МІНЕРАЛОГІЯ ТА УМОВИ УТВОРЕННЯ КОЛЧЕДАНОВИХ РОДОВИЩ УРАЛУ

I. Вікентьєв

*Інститут геології рудних родовищ, петрографії, мінералогії  
і геохімії Російської академії наук,  
Старомонетний пров., 35, 119017 Москва, РФ  
E-mail: viken@igem.ru*

Виповнилося 65 років від часу виходу монографії Є. Лазаренка "Мінералогія медно-цинкових месторождений Среднего Урала" (Львів, 1947). Наголошено, що вона досі є актуальною. Проаналізовано сучасний стан вивченості колчеданових родовищ Уралу. Наведено мінералого-геохімічну характеристику колчеданових родовищ Уралу на підставі нової їхньої систематики. Особливу увагу приділено опису *PTX*-умов мінералоутворення. Їхню реконструкцію виконано за флюїдними включеннями та мінеральними геотермометрами (за складом сфалериту, самородного золота, піротину й арсенопіриту). Описано золото-срібні мінерали руд.

*Ключові слова:* мінералогія, сульфідні, колчеданові родовища, метаморфізм, золото, телуриди, умови мінералоутворення, Урал.