

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ЗАМЕТКИ

Б. В. БРОДИН

ВЮРТЦИТ ИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КЕН-ШАНЫК

ПАРАГЕНЕТИЧЕСКИЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ВЮРТЦИТА

Гексагональная модификация сульфида цинка — вюртцит принадлежит к числу относительно редких минералов. В СССР вюртцит впервые был отмечен в 1934 г. С. С. Смирновым в рудах оловосодержащего свинцово-цинкового Мангазейского месторождения в Якутии. Минераграфическими исследованиями последующих лет вюртцит в незначительном количестве был установлен в ряде подобных, сложных по составу руд оловосодержащих месторождений (Актюз, Синанча и др.). Вюртцит в этих месторождениях встречается совместно с галенитом, касситеритом, станином, сульфоантимонитами свинца и серебра и другими минералами, тесно ассоциируясь при этом с пиритом, марказитом, скорлуповатым сфалеритом и халькопиритом (Волинский, 1940). В несколько иной ассоциации вюртцит отмечался в уральских колчеданных медно-цинковых месторождениях Блява и Яман-Кассы (Шадлун, 1941), а также в некоторых полиметаллических месторождениях Рудного Алтая (Вейц, Покровская, 1957). В этих, различных по типу месторождениях вюртцит встречается в сходной парагенетической ассоциации совместно со сфалеритом, марказитом, пиритом (мельниковит-пиритом) и халькопиритом.

Из иностранных месторождений отметим широко известные находки вюртцита в оловорудных месторождениях Южной Боливии, в Пришбрамском серебро-свинцовом месторождении в Средней Чехии, в некоторых месторождениях Силезии. В боливийских месторождениях вюртцит встречается совместно с пиритом, сфалеритом, марказитом, сульфосолями свинца, серебра и меди; в Пришбраме вюртцит, выделившийся в качестве одного из ранних минералов, ассоциируется с сидеритом, сфалеритом, галенитом, халькопиритом и другими минералами.

Нами вюртцит был встречен в 1954 г. в рудах полиметаллического месторождения Кен-Шанык, располагающегося на южном склоне Таласского Алатау в Северной зоне Тянь-Шаня (Курганский рудный узел). По минеральному составу руд это месторождение приближается к выделенной Е. А. Радкевич (1951) группе оловосодержащих свинцово-цинковых месторождений, залегающих в известняках. Типичная кен-шанькская руда характеризуется в основном карбонатной (сидеритовой) жильной массой, содержащей метасоматические выделения пирита, галенита и сфалерита. Локально в небольшом количестве встречаются кварц, кальцит, из рудных минералов — магнетит, марказит, халькозин и вюртцит. Микроскопически в отдельных участках рудных тел отмечаются

единичные выделения арсенопирита, халькопирита, пирротина, блеклых руд, сульфоантимонитов свинца и серебра, сульфовисмутитов меди, касситерита, станнина, самородного серебра и сурьмы, и других минералов. Обособленные гидротермальные образования сложены доломитизированным

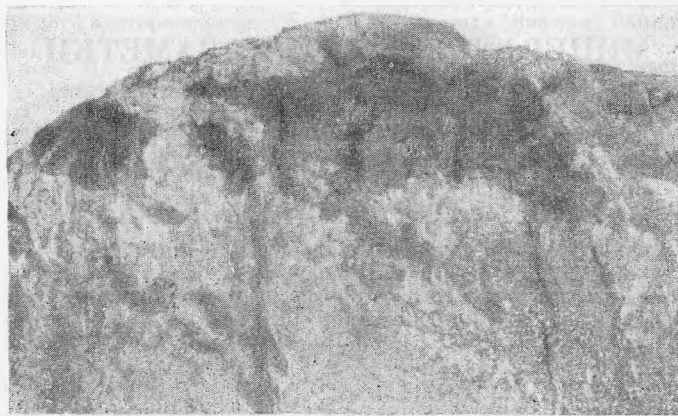


Рис. 1. Гнездо вюртцита (темно-серый) в сидерите (светло-серый) с вкрапленностью галенита
Часть штуфа; $\frac{1}{4}$ нат. велич.

известняком с тонкораспыленным в нем гетитом (так называемые «железистые» доломиты) и почти лишены выделений сульфидов (Бродин, 1958).

Вюртцит желтовато-бурого цвета на Кан-Шаныке встречается в виде метасоматических выделений в массе сидерита. Иногда он образует плотные почковидные агрегаты, нацело выполняющие пустотки в сидерите и кварце (рис. 1). Помимо указанных жильных минералов, вюртцит ассоциирует с ранним пиритом, с незначительным количеством марказита и пирита, развившихся по пирротину, а также с буланжеритом и значительно более поздними галенитом и кальцитом. Как показывают наблюдения возрастных соотношений отмеченных минералов, вюртцит по времени выделения близок к буланжериту и выделялся несколько позже дисульфидов железа и сидерита, до кристаллизации галенита. Вюртцит в массе сидерита отлагается местами на скоплениях зерен позднего пирита и марказита (по пирротину), цементирует угловатые обломки сфалерита II (приобретая в контакте с последним более бурый цвет, вероятно за счет ассимиляции железа). Галенит метасоматически вытесняет вюртцит; обломки вюртцита, иногда в проращении с галенитом, цементируются поздним кальцитом.

Находка вюртцита на Кан-Шаныке дополняет список оловосодержащих месторождений, в которых он был ранее известен. Еще в 1940 г. И. С. Волынский отметил приуроченность вюртцита к некоторым оловорудным месторождениям, что связывалось им со специфической кислотностью растворов, образовавшихся на определенном этапе формирования этих месторождений. Е. А. Радкевич (1947) также отмечает, что для оловорудных месторождений небольших глубин формирования характерно присутствие минералов, указывающих на проявление кислых растворов: эндогенного марказита, местами — алунита. На некоторых месторождениях Курганского рудного узла в верхних частях рудных тел, вблизи подновлявшихся тектонических нарушений также широко развит эндогенный мар-

казит, интенсивно замещающий пирит (по пирротину). Здесь же местами развит вюртцит. Характерно, что на нижних горизонтах указанных месторождений эти минералы почти отсутствуют. Если принять общеизвестные представления об условиях образования отмеченных минералов, то указанные факты могут быть интерпретированы как показатель местных изменений характера среды рудоотложения в сторону нейтральности и, возможно, слабой кислотности, обусловленных, по-видимому, приоткрытием тектонических нарушений в условиях небольших глубин формирования этих месторождений (Бродин, 1957).

ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ВЮРТЦИТА С РАЗЛИЧНЫМИ ГЕНЕРАЦИЯМИ СФАЛЕРИТА

Из сульфидов цинка, помимо вюртцита, в рудах Кен-Шаныка и других месторождений рудного узла встречается несколько генераций сфалерита. Наиболее ранним из них является темно-бурый, до черного, сфалерит I (марматит), ассоциирующийся с пирротинном, пиритом, халькопиритом, станнином и другими сопутствующими им минералами. На Кен-Шаныке он встречается сравнительно редко, обычно в ассоциации с ранним пиритом, но широко развит в месторождении Чат-Карагай. Более поздний бурый сфалерит II является одним из главных рудных минералов Кен-Шаныка и наблюдается в виде метасоматических выделений и секущих прожилков в массе сидерита в ассоциации с более поздним галенитом и другими минералами. Желтовато-бурый сфалерит III развивается по вюртциту, образуя с ним тесные сростания. Выделения вюртцита оказываются в значительной мере сложенными этим поздним сфалеритом. Кроме отмеченных разновидностей сульфида цинка, в рудах Кен-Шаныка минералогически устанавливается незначительное количество полупрозрачного сфалерита IV (клейсфана), образующего тонкие призальбандовые оторочки в прожилках позднего кальцита. Последовательность отложения указанных сульфидов цинка может быть отражена следующим рядом: сфалерит I (марматит) — сфалерит II — вюртцит + сфалерит III — сфалерит IV (клеюфан).

Представляет интерес состав последовательно выделившихся генераций сульфидов цинка, в том числе и закономерно располагающегося в их ряду вюртцита. Сравнение результатов химических анализов этих сульфидов цинка (аналитик Б. М. Елоев) показывает, что в сфалерите I содержится примерно в 2 раза больше железа, чем в более позднем сфалерите II (табл. 1); вюртцит из Кен-Шаныка отличается незначительным содержанием железа. Изоморфная примесь марганца несколько возрастает у сфалерита I и резко уменьшается у вюртцита. При этом более светлые, желтовато-бурые разновидности вюртцита отличаются от темных (бурых) меньшим количеством марганца при одинаково незначительном содержании в них железа (табл. 2). Содержание кадмия в вюртците несколько меньше, чем в более ранних генерациях сфалерита. Таким образом, среди основных изоморфных примесей в сульфидах цинка из Кен-Шаныка отмечается тенденция к уменьшению содержания железа по мере перехода от сфалерита I к вюртциту. Содержание марганца и кадмия при этом почти не изменяется, уменьшается лишь в поздних желтовато-бурых разновидностях вюртцита.

Незначительная примесь меди и олова, обусловленная механическими включениями тонких, эмульсионных выделений станнина и халькопирита, уменьшается от сфалерита I к вюртциту (табл. 2). Помимо отмеченных компонентов, в указанных сульфидах цинка спектроскопически устанавли-

Таблица 1

Результаты химических анализов различных сульфидов цинка
(в весовых процентах)

Минералы	Zn	Fe	Mn	Cd	S	Сумма	Примечания
Сфалерит I	51,50	13,96	0,02	0,18	34,50	100,16	Чат-Карагай; в ассоциации с пирротином
Сфалерит I	55,00	11,56	0,002	0,31	33,37	100,24	Кен-Шанык; в ассоциации с пиритом
Сфалерит II	60,8	5,75	Следы	0,32	33,10	99,96	Кен-Шанык
Вюрцит	65,60	1,84	Следы	0,12	32,07	99,63	Кен-Шанык

Таблица 2

Результаты полных спектральных анализов некоторых сульфидов цинка
из Кен-Шаныка
(в процентах)

Элементы	Сфалерит I (марматит) (7 анализов)	Сфалерит II (3 анализа)	Вюрцит	
			бурый (2 анализа)	желтовато-бурый (2 анализа)
As	(0, n)	—	—	—
Sb	(0, 0n)	0, 0n	0, n	0, n
Pb	0, n	0, n	0, 00n	0, 0n
Mn	0, n	0, n	0, 0n	0, 00n
Mg	0, 00n	0, 00n	0, 00n	0, 00n
Si	0, n	(0, n)	0, 00n	0, 00n
Al	0, n	(0, 0n)	0, 0n	—
Fe	n+	n	0, n	0, n
In	0, 00n—0, 0n	(0, 00n)	—	—
Ga	0, 00n—0, 0n	0, 00n	—	—
Ge	—	—	0, 0n	0, 0n
Sn	0, n	0, 0n	0, 00n	0, 00n
Bi	0, 000n	(0, 000n)	—	—
Cu	0, n	0, 0n	0, 000n	0, 000n
Cd	0, n	0, n	0, n	0, 0n
Ag	0, 00n	0, 00n	0, 000n	0, 00n
Zn	n+	n+	n+	n+
Co	(0, 0n)	—	—	—
Ca	0, 0n	0, 0n	0, 00n	—

Анализы сфалеритов выполнены в спектральной лаборатории ИМГРЭ АН СССР Н. В. Лизуновым, анализы вюрцита — в лаборатории ИГЭМ АН СССР М. Решетиной. В скобках — содержание элементов, встречаемых в единичных пробах.

ливаются примесь ряда элементов, среди которых заслуживают особого интереса индий, галлий и германий, связанные изоморфно с этими минералами. Намечается некоторая закономерность изменения содержания

отмеченных рассеянных элементов в различных генерациях сфалерита и вюртцита из Кен-Шаныка. По мере перехода от высокотемпературного марматита к сфалериту II, а затем — вюртциту + сфалерит III, отмечаемая в первом изоморфная примесь индия и галлия постепенно уменьшается.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ДИАГНОСТИКИ ВЮРТЦИТА

Диагностика вюртцита при микраграфических исследованиях (в отраженном свете) связана, как известно, с большими затруднениями. Как указывает И. С. Волинский (1949), оптическая анизотропия при этом (наблюдаемая предельно слабо и не всегда) не может служить достаточным критерием, чтобы отличить вюртцит от сфалерита. У сфалерита также иногда наблюдается аномальная анизотропия, обусловленная внутренним напряжением или субмикроскопическими включениями зерен халькопирита. Характерное для вюртцита радиально-лучистое концентрически-зональное (скорлуповатое) строение агрегатов в равной степени может встречаться и у сфалеритов. Обычные для сфалерита полисинтетические (пластинчатые) двойники и наличие спайности по (111) в тонкозернистых агрегатах даже при структурном травлении выявляются с трудом или могут быть не вскрыты.

А. Г. Бетехтин (1950) и И. С. Волинский (1949) указывают, что рентгенометрическая характеристика дает возможность вполне уверенно отличить вюртцит от сфалерита. Однако практическое использование этого метода связано с рядом затруднений, возникающих вследствие близости кристаллических решеток указанных минералов и наличия поли типов, объединяющих структурные модификации, характеризующиеся незначительными изменениями элементарной ячейки в результате чередования по оси с единичных слоев с «высшими» типами решетки (кубической и гексагональной) без изменения структуры в целом (Strok, Brophy, 1955). Само понятие вюртцита как минерала при этом оказывается сложным и включает ряд поли типов со значительной долей гексагональной упаковки¹.

Фрондель и Пэлач (Frondel, Palache, 1950), описав природные кристаллы сульфида цинка типа 4H, 6H и 15R (политипы, аналогичные хорошо изученным для SiC), в выразили сомнение в том, что тип 2H (собственно вюртцит) встречается в качестве минерала. В последующей работе Смит (Smith, 1955) систематизировал методику определения в сульфидах цинка структурных типов и отношения в них кубической упаковки к гексагональной по относительной интенсивности проявления тех или иных линий на дебаеграммах. Изучив образцы «вюртцитов» из коллекции университета в Торонто, он показал, что они являются смесью политипов с некоторой солей в каждом гексагональной упаковке, но без какого-либо участия структуры типа 2H. Значительная доля гексагональной упаковки (до 65%) установлена им только в некоторых сульфидах цинка из оловорудных месторождений Южной Боливии и из Пшибрама в Чехословакии. На основании рентгенометрического изучения многочисленных образцов сульфидов цинка из различных месторождений мира и литературных данных этот автор приходит к выводу, что структура 2H в чистом виде (собственно вюртцит) обычно отсутствует. Однако широко распространены «политипические структуры», промежуточные между этой крайней,

¹ Очевидно этим объясняется различие рентгенометрических данных, приводимых в литературе для вюртцита.

гексагональной полиморфной модификацией и кубической¹. При этом установлено, что примесь железа и марганца затрудняет переход из неустойчивой гексагональной модификации в кубическую, в результате чего темноокрашенные разновидности сульфидов цинка из низкотемпературных месторождений обычно представляют собой полиморфы со значительной долей сохранившейся гексагональной упаковки. В полосчатых образцах темные полосы обычно имеют большую долю гексагональной упаковки, чем светлые.

Таким образом, при диагностике вюрцитита приходится пользоваться не столько минералогическими методами изучения минерала, сколько исследованиями его в проходящем свете (при этом всегда четко устанавливается анизотропия минерала и внутреннее строение его зерен), дополняя их рентгенометрическими данными.

В аншлифах вюрцитит из Кен-Шаныка обладает характерными для обычного сфалерита невысокой отражательной способностью и рельефом, а также слабо буроватыми внутренними рефлексам, наблюдаемыми по всему полю. Отражательная способность различных сульфидов цинка, встречаемых на Кен-Шаныке, закономерно изменяется, уменьшаясь у маложелезистых разновидностей независимо от их структуры (табл. 3). Несколько

Таблица 3

Результаты определения отражательной способности и твердости некоторых сульфидов цинка из Кен-Шаныка

Минерал	Отражательная способность ($R_{ср}$, %)	Микротвердость	
		H, кг/мм ²	H ₀ , в единицах шкалы М. М. Хрущева
Сфалерит I (марматит)	18,9	205—235	4,0- 4,2
Сфалерит II	18,1	190—205	3,9- 4,1
Вюрцитит	17,6	215—250	4,1- 4,3

Отражательная способность измерялась в белом свете селеновым фотоэлементом УФ-101, смонтированным на микроскопе МИМ-6. За эталон принят галенит с $R_{абс} = 43\%$. Микротвердость определялась на приборе ПМТ-3 по методу М. М. Хрущева.

необычно высокая отражательная способность у марматита, обуславливается, кроме значительной примеси железа, по-видимому, субмикроскопическими выделениями станнина и халькопирита, образующих местами значительные скопления. Двуотражение, а также оптическую анизотропию в скрещенных николях в отраженном свете у вюрцитита из Кен-Шаныка наблюдать не удастся из-за интенсивно проявленных внутренних рефлексов. В этом отношении минерал не отличим от обычных маложелезистых сфалеритов.

По твердости исследуемый вюрцитит близок к различным генерациям сфалерита; он отличается меньшей хрупкостью, особенно по сравнению с марматитом (определено по форме пирамид давления). Данные определения микротвердости показывают (табл. 3), что она несколько уменьшается у маложелезистого сфалерита II и возрастает у вюрцитита (несмотря на относительно низкое содержание в нем железа).

¹ Известна также ромбическая полиморфная модификация сульфида цинка, искусственно полученная в последние годы (Strok, Brophy, 1955).

В проходящем свете проявляется резкая анизотропия минерала, хорошо наблюдаемая в сравнении с изотропными участками полиморфного превращения вюртцита в сфалерит. Четко проявляется прямое угасание вюртцита при отрицательном удлинении его лучистых индивидов; двуупреломление составляет около 0,020 (интерференционные цвета затусованы собственной буроватой, иногда зеленовато-бурой окраской минерала); плеохроизм обычно в желтовато-бурых тонах проявлен очень слабо (Ng — бурый, Nm — желтовато-бурый).

Отмечавшаяся Т. В. Иваницким (1953) для подобного маложелезистого сфалерита люминесценция в ультрафиолетовом свете для вюртцита и сфалеритов из Кен-Шаныка не наблюдалась (изучалась на приборе МУФ-2 при длине волн 2500—4000 и 3650 Å).

Результаты рентгенометрического изучения некоторых сульфидов цинка из Кен-Шаныка, выполненного Н. Г. Калугиной, приведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты рентгенометрического изучения некоторых сульфидов цинка из месторождения Кен-Шанык

Сфалерит I и II по двум совпадающим дебаеграммам		Вюртцит в смеси с некоторым количеством сфалерита III					
		Проба 1		Проба 2		Проба 3	
		I	d	I	d	I	d
2β	3,44	2β	3,44	2β	3,45	2β	3,47
—	—	2	3,29	2	3,30	1	3,50
10	3,12	8	3,12	8	3,13	8	3,14
—	—	—	—	1	2,84	1	2,82
2	2,71	—	—	—	—	1	2,70
2β	2,11	2β	2,10	2β	2,11	2β	2,09
10	1,917	10	1,910	10	1,914	10	1,911
2β	1,797	2β	1,730	1β	1,803	2β	1,790
—	—	—	—	1	1,768	—	—
—	—	—	—	1	1,743	1	1,730
10	1,637	10	1,639	10	1,641	10	1,629
1	1,561	1	1,567	1/2	1,564	1	1,560
1β	1,494	—	—	—	—	—	—
4β	1,370	—	—	—	—	—	—
6	1,357	1ш	1,358	1ш	1,350	2 6	1,365 1,347
—	—	—	—	2	1,255	—	—
8	1,243	—	—	—	—	—	—
—	—	4	1,229	2ш	1,238	6ш	1,238
2β	1,218	2β	1,211	2β	1,213	2β	1,213
2	1,208	—	—	—	—	—	—
1β	1,149	1β	1,144	2β	1,148	1β	1,144
10	1,104	8	1,101	8	1,105	8	1,102
1	1,055	—	—	—	—	—	—
10	1,043	8	1,039	8	1,043	8	1,040
2	1,004	—	—	2	1,001	1	1,006

Съемка велась на установке УРС-55 рентгеновской трубкой с железным антикатодом, без фильтра, при $V=25$ кВ, $I=10$ мА; определение относительной интенсивности линий визуальное; межплоскостные расстояния — в Å. Пробы вюртцита отобраны из различных зон его почновидного агрегата (см. рис. 2): проба 1 — из зоны 2-а, проба 2—2-б, проба 3—2-в.

Полностью совпадающие данные, полученные для раннего сфалерита (марматита) и более позднего сфалерита второй генерации, приведены совместно в первых двух графах. Последующие данные относятся к трем пробам вюртцита, отобранным из различных зон его почковидного агрегата, несколько отличающихся окраской и степенью полиморфного превращения в сфалерит.

При анализе полученного цифрового материала (если учитывать лишь линии основного спектра) обращает на себя внимание отсутствие некоторых линий у сфалерита или вюртцита, а также различие в их интенсивности, проявившееся в начальной и средней частях дифракционного спектра. Так, у кеншаньского вюртцита четко проявилась линия (небольшой интенсивности) $d_x = 3,29-3,30 \text{ \AA}$, полностью отсутствующая у сфалерита. Вместе с тем характерная для сфалерита яркая линия $d_x = 3,12 \text{ \AA}$ у вюртцита проявилась несколько слабее.

Как показал Смит (Smith, 1955), соотношением интенсивности именно этих линий, обусловленных отражением от плоскостей 10.0 и 00.1/3 кристаллической решетки, удобно пользоваться при определении в сульфиде цинка отношения кубической упаковки к гексагональной. Мы не можем в полной мере (количественно) воспользоваться этим методом ввиду визуального определения относительной интенсивности линий спектра. Однако даже отмеченные различия в рентгенограммах сфалерита и вюртцита из Кен-Шанька свидетельствуют о значительной доле в последнем гексагональной упаковки. Более того, в некоторых пробах вюртцита четко проявились линии $d_x = 2,82-2,84$ и $1,768 \text{ \AA}$, характерные, по Смиуту, только для сульфида цинка структурного типа 9R.

В центральной части спектра обращает на себя внимание очень четкое проявление у сфалерита линий $d_x = 1,357$ и $1,243 \text{ \AA}$, отсутствующих или очень слабо проявленных у проб вюртцита. Наблюдается различная интенсивность проявления на дебаеграммах сфалерита и вюртцита характерных линий $d_x = 1,101-1,104$ и $1,039-1,043 \text{ \AA}$.

Таким образом, анализ данных рентгенометрического изучения сфалеритов и вюртцита из Кен-Шанька показывает, что ранний сфалерит I (марматит) и более поздний сфалерит II идентичны и относятся к структурным типам с весьма большой долей кубической упаковки. Кеншаньский вюртцит по своей структуре резко отличается от этих двух ранних модификаций сульфида цинка и представляет собой разность с большой долей гексагональной упаковки (возможно, смесь политипов, среди которых значительную долю составляет тип 9R). Некоторое различие в дебаеграммах отдельных проб вюртцита объясняется различной степенью его полиморфного превращения в сфалерит III и, возможно, некоторым колебанием условий съемки. При этом светлоокрашенная разность вюртцита (проба 3) отличается, как будто, несколько большей примесью такого сфалерита.

МОРФОЛОГИЯ И ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ ВЫДЕЛЕНИЙ ВЮРТЦИТА

Морфологические особенности и внутреннее строение выделений вюртцита представляют значительный интерес для выяснения некоторых вопросов их генезиса, включая рост и последующие изменения. Как указывалось выше, вюртцит из Кен-Шанька образует плотные почковидные, натечные агрегаты, обладающие сложным радиально-лучистым концентрически-зональным строением, выявляемым в результате различной окраски отдельных зон. Местами почковидные корки вюртцита достигают мощ-

ности 5 см. Обращают на себя внимание признаки одностороннего роста некоторых почковидных агрегатов вюртцита в сидерите (или кварце). Значительно реже почковидные корки вюртцита отлагаются на обеих стенках пустот, образуя на сидерите асимметричные оторочки. В обоих

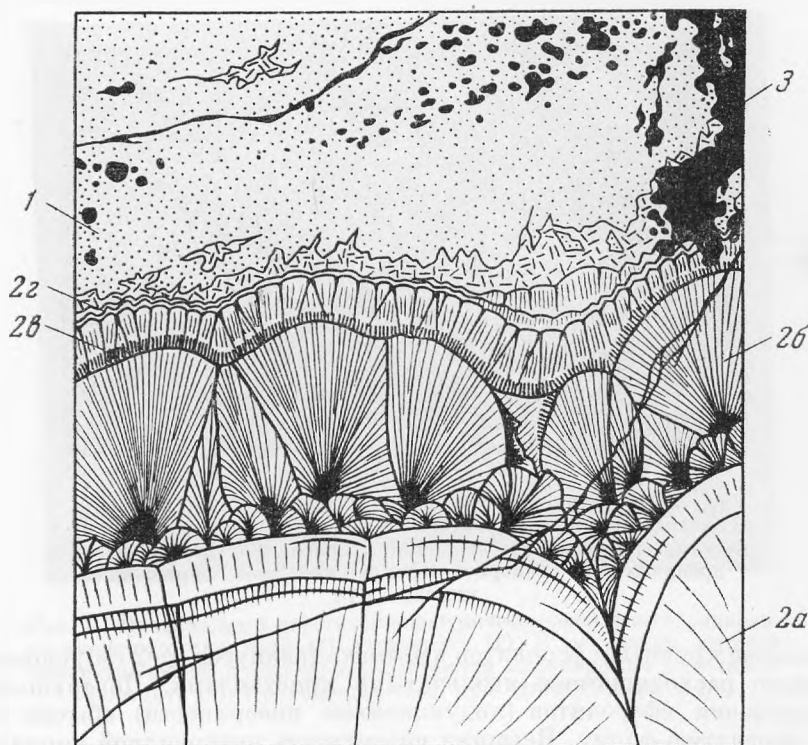


Рис. 2. Натечный, почковидный агрегат вюртцита (2) в сидерите (1); галенит (3)

2a — зона плотного скрытокристаллического вюртцита бурого цвета; 2б — радиально-лучистый вюртцит бурого цвета; 2в — зона желтовато-бурого, оранжево-бурого радиально-лучистого вюртцита; 2г — медово-желтый мелкозернистый вюртцит
Зарисовка полированного штуфа. Увел. 1,5.

случаях сидерит на стенках пустот носит признаки растворения и частичного вытеснения вюртцитом. Это может быть объяснено ростом сферолитов, слагающих такие агрегаты, по мере образования пустот путем метасоматического растворения сидерита.

Почковидные корки вюртцита в центральных частях обычно сложены плотной скрытокристаллической массой бурого цвета, образующей крупные концентрически-зональные скопления (рис. 2, зона 2-а). На такие выделения нарастает почковидная корка вюртцита с четко выраженным радиально-лучистым строением (зона 2-б). В основании ее развита серия мелких сферолитов, нарастающих на сферической поверхности ранее образовавшихся сферолитов. Интересной особенностью строения сферолитов вюртцита, располагающихся в основании этой корки, является резко проявленное веерообразное расщепление слагающих их удлиненных индивидов (рис. 3), приводящее местами к образованию метельчатых агрегатов с характерной структурой «ледяного узора».

Взаимоотношение отмеченных мелких сферолитов свидетельствует о проявлении геометрического отбора при их росте. Серия мелких сферолитов зарастает, в то время как продолжают развиваться единичные сферолиты, центры роста которых расположены относительно выше остальных. Конечным результатом проявления такого отбора является

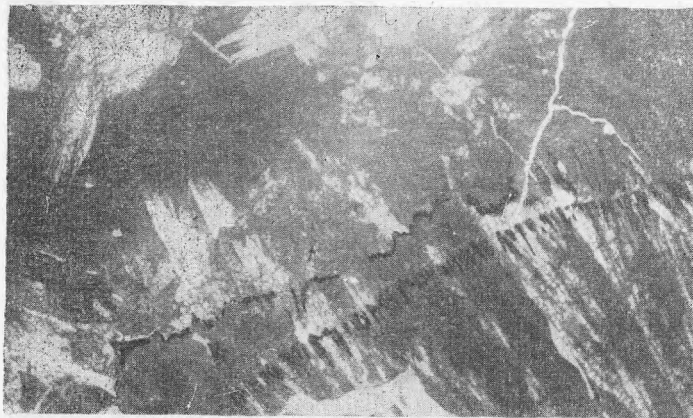


Рис. 3. Внутреннее строение почковидной корки вуртцита. В основании последующей корки развит вуртцит зернистого, местами метельчатого строения (справа вуртцит частично превращен в сфалерит). Проходящий свет, скрещенные николи. $\times 18$

образование крупных сферолитов вуртцита (радиусом до 2 см), сложенных радиально расходящимися игольчатыми кристаллами. Поверхности соприкосновения сферолитов (индукционные поверхности) обычно имеют слабо изогнутую форму. Внешняя поверхность почковидной корки вуртцита представляет собой сумму соприкасающихся полусфер отдельных сферолитов.

На такую сложную, бугристую поверхность нарастает серия все менее мощных почковидных корок вуртцита желтовато-бурого, оранжевато-бурого цвета (зона 2-е). Каждая последующая корка вуртцита в основании сложена мельчайшими лучистыми зародышами кристаллов, располагающимися на поверхности предыдущей. Выше этой зоны корка сложена тесно соприкасающимися сферолитами радиально-лучистого строения. Интересны участки, где сферолиты новой корки образуются лишь после выполнения кристаллизующимся веществом небольших углублений на поверхности предыдущей корки. Мощность возникающих почковидных корок несколько изменяется, уменьшаясь на выпуклых частях поверхности основания. Характерной особенностью строения таких корок является наличие в отдельных местах на внешней поверхности остроконечных головок кристаллических индивидов вуртцита, придающих ей «зубчатую форму» (рис. 2 и 4). Медово-желтый вуртцит самой внешней зоны (зона 2-г) выполняет промежутки между корродированными зернами сидерита, частично метасоматически его вытесняя.

Почковидные выделения вуртцита из Кен-Шаныка являются прекрасным примером натечных, сферолитовых агрегатов. Закономерности образования подобных агрегатов, на которые обратил внимание Д. П. Григорьев (1953), в полной мере вытекают из особенностей строения описан-

ных выделений вюртцита из Кен-Шаныка. Строение отдельных концентрических зон указанных агрегатов свидетельствует о том, что появление их вызывается неоднократным массовым возникновением зародышей кристаллов в результате резкого изменения концентраций веществ в рудонесных растворах. При последующем совместном росте сближенных

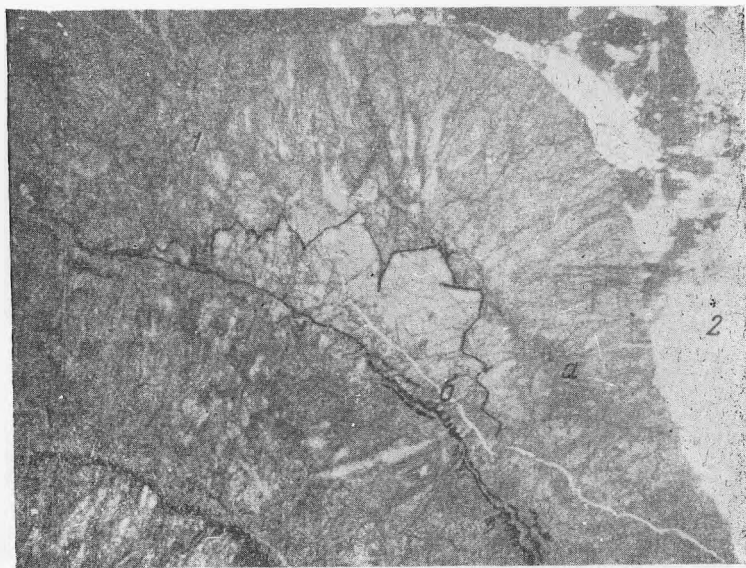


Рис. 4. Почковидный агрегат концентрически-зонального, радиально-лучистого вюртцита (1) в сидерите (2). В основании верхней концентрической корки (а) располагаются идиоморфные кристаллы вюртцита (б). Проходящий свет; при одном никеле; $\times 10$

сферолитов, образующихся в результате расщепления игольчатых индивидов вюртцита, проявился закон геометрического отбора, который в применении к подобным образованиям малахита был отмечен В. А. Черепановым (1951), а затем — четко сформулирован Д. П. Григорьевым (1953). Каких-либо признаков, указывающих на образование описанных агрегатов вюртцита из Кен-Шаныка в результате раскристаллизации вязких масс геля (метаколлоидное происхождение), подобных упоминающимся в литературе трещинам «усыхания» в почках сфалерита (Иваницкий, 1953; Kutina, 1953)¹, нами не отмечено.

Сферолитовые агрегаты вюртцита из руд Кен-Шаныка претерпели ряд изменений, связанных с частичным полиморфным превращением его в сфалерит. Участки полиморфного превращения четко различимы микроскопически даже при одном никеле (в проходящем свете), благодаря тому, что выделения вюртцита, в отличие от сфалерита, обладают спайностью

¹ Принадлежность таких трещин к трещинам сиперезиса этими авторами не доказывается. Радиальные и концентрические трещинки, местами наблюдаемые в «шалебленде» из месторождения Белый Орел в Силезии (из коллекции шлифов, предоставленной нам доктором Яном Кутиндой), имеют, по-видимому, реликтовое происхождение, указывающее на первичное радиально-лучистое строение их агрегатов. Характерно, что отдельные зонки почковидных агрегатов этого скорлуповатого сфалерита имеют ясно сферолитовое строение и сложены сохранившимися от полиморфного превращения удлиненными кристаллами вюртцита.

лишь в одном направлении — по (0001), а иногда — слабым плеохроизмом. Местами отмечается, что бурая окраска вюртцита отсутствует у заместившего его сфалерита.

Микроскопически в описанных почковидных агрегатах устанавливается, что изотропный сфалерит образует цемент среди лучистых, метель-

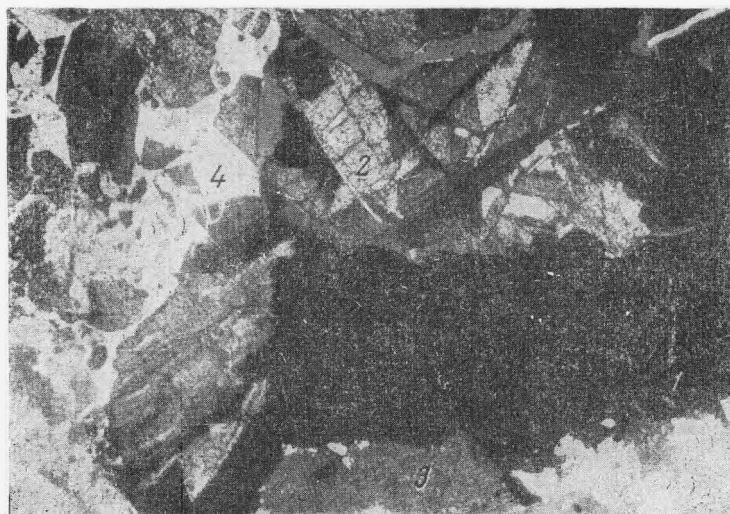


Рис. 5. Обломок почковидной корки сфалерита и вюртцита (1), заключенный в массе зернистого вюртцита (2); сидерит (3); кальцит (4). Проходящий свет, николи +, $\times 30$

чатых индивидов вюртцита, создающих «скелетный» остов отдельных сферолитов. Местами процесс полиморфного превращения развит шире и сфалерит слагает целые участки почковидных корок, среди которых сохраняются лишь реликтовые выделения вюртцита. Образующийся при этом сфалерит представлен аллотриоморфным более или менее тонкозернистым агрегатом. Перекристаллизация, сопровождающая процесс полиморфного превращения, ведет местами к полному уничтожению особенностей внутреннего строения сферолитов вюртцита и образованию скорлуповатых агрегатов сфалерита, подобных описанным В. П. Панковым (1951) и другими авторами.

Полиморфное превращение развивается во всех зонах почковидных агрегатов вюртцита. Какого-либо резкого различия в степени полиморфного превращения светлых и темных его зон установить не удастся. Лишь местами наблюдается, что более бурые участки вюртцита (иногда по форме соответствующие частям метасоматически замещенных ромбоэдрических зерен сидерита) сохраняются без изменения в массе почти нацело превращенного в сфалерит желтовато-бурого вюртцита. Распределение участков полиморфного превращения вюртцита в сфалерит скорее находится в некоторой связи со структурой отдельных зон почковидного агрегата. Зоны с крупнокристаллическим радиально-лучистым строением отличаются сравнительно ограниченным развитием сфалерита, который широко распространен в зонах с тонкоигольчатым, метельчатым строением.

Местами в массе медово-желтого вюртцита отмечаются продолговатые ломки полосчатого строения, обладающие более бурым цветом (рис. 5

и 6). В основании таких обломков располагаются крустификационные оторочки мелких удлиненных кристаллов вюртцита, чередующиеся с полосками сфалерита. Остальная часть обломков сложена тонкозернистой массой обычного сфалерита III. Указанные обломки цементируются мелкокристаллической массой вюртцита, лишенной каких-либо признаков



Рис. 6. Крустификационная оторочка вюртцита (1) в основании обломка почковидной корки сфалерита (2) (деталь рис. 5). Проходящий свет, скрещенные николи; $\times 50$

полиморфного превращения его в сфалерит. Отмеченные обломки представляют собой части концентрических зон, слагающих обычные почковидные агрегаты вюртцита. Медово-желтый зернистый вюртцит может быть параллелизован с самой поздней его разновидью (аналогичной зоне 2-2, рис. 2).

Наличие обломков почковидных корок вюртцита и сфалерита III, заключенных в массу зернистого вюртцита, может рассматриваться как показатель чередующегося отложения этих минералов в начале формирования натечных агрегатов. Вместе с тем это не исключает возможности проявления полиморфного превращения вюртцита в сфалерит, начавшегося уже в момент образования почек. Более позднее избирательное превращение вюртцита в сфалерит в этом случае мало вероятно, так как заключающийся обломки светлый, маложелезистый вюртцит [наиболее легко превращающийся в сфалерит, по Смигу (Smith, 1955)] не несет следов полиморфного превращения. При любой из указанных интерпретаций остается очевидным, что условия, благоприятные для образования гексагональной модификации сульфида цинка на Кен-Шаныке, были кратковременны. В дальнейшем вюртцит оказывается неустойчивым и сменяется сфалеритом. Об этом также свидетельствуют отмечаемые Б. И. Вейц и И. В. Покровской (1957) сложные взаимоотношения вюртцита и скорлуповатого сфалерита в Николаевском месторождении на Рудном Алтае. Радиальнолучистые сферолитовые выделения темно-бурого вюртцита из Пшибрама

при детальном изучении оказываются почти нацело сложенными мелкозернистым агрегатом сфалерита. Лишь местами в шлифах здесь удается наблюдать участки, сложенные лучистыми анизотропными зернами вюртцита, располагающимися в массе интенсивно замещающего его сфалерита. В литературе неоднократно описывались параморфозы сфалерита по гексагональным кристаллам вюртцита, например, из Фельсбани в Румынии (Tokody, 1948).

В заключение отметим, что изучение вюртцита из Кен-Шаныка, помимо прочего, показывает, что многие вопросы, касающиеся этого минерала (в частности, условия нахождения его в природе, парагенетические ассоциации, образование и последующие превращения и т. д.), изучены недостаточно и ждут специальных, более широких исследований. Углубленное изучение этого интересного минерала, как нам кажется, может дать некоторый новый материал для разрешения теоретических вопросов минералообразования.

ЛИТЕРАТУРА

- Бетехтин А. Г. Минералогия. Госгеоллиздат, 1950.
- Бродин Б. В. К вопросу о проявлении зональности на месторождениях Курганского рудного узла. Труды ин-та «Минцветметзолото» им. М. И. Калинина, вып. 27. Металлургиздат, 1957.
- Бродин Б. В. Об эндогенном гетите в рудах месторождения Кен-Шанык. Зап. Всес. Минер. об-ва, вып. 4, 1958.
- Вейц Б. И., Покровская И. В. Вюртцит. В кн.: «Минералогия полиметаллических месторождений Рудного Алтая. Изд-во АН Каз. ССР, 1957.
- Волынский И. С. Вюртцит. В кн.: «Минералы СССР», т. II. Изд-во АН СССР, 1940.
- Волынский И. С. Определение рудных минералов под микроскопом, т. III. Госгеоллиздат, 1949.
- Григорьев Д. П. О генезисе натечных или метаколлоидных, колломорфных агрегатов минералов. Зап. Всес. Минер. об-ва, вып. 1, ч. 82, 1953.
- Иваницкий Т. В. О структурах и текстурах сфалерита и дисульфидов железа коллоидного происхождения. Труды Геол. ин-та АН Груз. ССР, серия минерал. петрограф., т. III, 1953.
- Панков В. П. О колломорфном сфалерите свинцово-цинкового месторождения Верхняя Квайса в Южной Осетии. Зап. Всес. Минер. об-ва, ч. 80, вып. 1, 1951.
- Радкевич Е. А. Месторождения касситеритово-сульфидной формации. Труды Ин-та геол. наук АН СССР, вып. 82, 1947.
- Радкевич Е. А. Оловорудные месторождения, богатые сульфидами и силикатами железа. Изв. АН СССР, серия геол., № 3, 1951.
- Черепанов В. А. Некоторые закономерности морфологии, строения и замещений в агрегатах малахита из уральских месторождений. Зап. Всес. Минер. об-ва, вып. 3, ч. 80, 1951.
- Шадлун Т. Н. «Вюртцит». К кн.: «Минералогия Урала». Изд-во АН СССР, 1941.
- Fron del C., Palasche C. Three new polymorphs of zinc sulphide. Amer. Miner. v. 35, 1950.
- Kutina J. Mikroskopischer und spektrographischer Beitrag zur Frage der Entstehung einiger Kolloidalstrukturen von Zinkblende und Wurtzit. Zeitschr. Geologie, H. 6. 1953.
- Smith F. G. Structure of zinc sulphide minerals. Amer. Miner., N 7, 8; v. 35, 1955.
- Strook L. M., Brophy V. Synthetic zinc sulphide polytype crystals. Amer. Miner. N 1, 2, v. 40, 1955.
- Tokody L. Wurtzit von Felsöbanya. Schweiz. Miner. und Petrogr. Mitt., Bd. XXVIII, H. 2, 1948.