

Э. А. ДУНИН-БАРКОВСКАЯ, Н. В. ТРОНЕНКО

КРУПНЫЕ КРИСТАЛЛЫ ВУЛЬФЕНИТА ИЗ СИДЖАКА
(УЗБЕКИСТАН)

Свинцово-ванадиево-молибденовое рудопоявление Сиджак открыто в 1959 г. геологом М. А. Кимом в Угамском хребте (Тянь-Шань). Оно примечательно крупными (до 40 см по ребру), прекрасными кристаллами вульфенита разнообразной окраски — от оранжево-красной до серой и бесцветной. Аналогичные кристаллы вульфенита известны в США, на рудниках Ред-Клауд и Гамбург, а также в Триго-Маунтинсе в Аризоне (Haberlandt, Schroll, 1950; Дэна и др., 1954). Бесцветный вульфенит описан Бэрджессом из месторождения Танопа в штате Невада (Burgess, 1911). В виде мелких кристаллов желтого и бурого цвета вульфенит обычен для зоны окисления многих полиметаллических месторождений (Янишевский, 1936; Новохатский, 1945; Чухров, 1950; Смирнов, 1955; Голованов, 1959; Костов, 1961, и др.).

Описываемое рудопоявление расположено в водораздельной части Угамского хребта, к северу от сел. Сиджак. Площадь его сложена известняками (C_1^2), прорванными дайками кварцевого порфира, биотитового и роговообманкового лампрофира или порфирита. Вульфенит и сопутствующие ему минералы приурочены к зоне крутопадающего тектонического нарушения невыдержанной мощности, выполненного гидроокислами железа и бурой глиной трения, сильно переработанными в коре выветривания. Эта глина детально не изучалась. Химический состав ее (в вес. %) следующий: ZnO 16,2; SiO_2 25,6; Fe_2O_3 25,25; Al_2O_3 14,02. Вероятно, она близка к цинковым глинкам Акджала (Чухров, 1956) и является феррицинальситом. Интересно, что глина имеет ферри-цинк-алюмосиликатный состав при относительной чистоте вмещающих ее известняков (нерастворимый остаток в последних составляет 1,5—2%). Вмещающие известняки интенсивно брекчированы, слабо мраморизованы и пронизаны многочисленными ветвящимися прожилками белого кальцита. В момент вскрытия шурфом глина была влажная, мягкая, вязкая, проросшая до глубины 50 см от поверхности многочисленными корнями растений. В поперечном срезе корней (толщиной около 2 мм), расположенных между кристаллами минералов, под покровным слоем кожицы изредка наблюдались слабо окристаллизованные зерна размером 0,05 мм. По оранжевой окраске и алмазному блеску они напоминают вульфенит. В очищенном высушенном корне полуколичественным спектральным анализом установлены элементы-примеси: Mo, Cu, Mn и Mg, Pb, Zn и Fe. Глина, вмещающая корни и кристаллы, содержит элементы-примеси: Mo, V, Zn, Pb. От поверхности до 1,5 м в глубину в глинке неравномерно распределены отдельные кристаллы вульфенита, их обломки, друзы и гнезда, достигающие размера 5×15 см. В значительном количестве там же встречаются кристаллы ванадинита,

длиной от 0,1 до 1,5 см, реже почковидные желваки, сложенные нарастающими друг на друга (от центра к периферии) церусситом, ванадинитом и деклуазитом. Хорошо ограненные кристаллы вульфенита и ванадинита найдены также в лёссовидных суглинках, перекрывающих зону минерализации в известняках. В кристаллах оранжевого вульфенита и их сростках встречаются коррозионные пустоты выщелачивания, на стенках которых нарастают кристаллы ванадинита в виде корки толщиной 1—2 мм. В желваках колломорфный ванадинит метасоматически развивается по агрегату мелкозернистого церуссита. Зеленый колломорфный ванадинит покрыт коркой темно-коричневого окристаллизованного деклуазита. Иногда мельчайшие кристаллы ванадинита нарастают на стенки жеоды колломорфного ванадинита. Колломорфные разности минералов выделились раньше, чем окристаллизованные.

На Сиджаке устанавливаются следующие парагенные ряды последовательности выделения (→) и замещения (З) минералов: мелкозернистый церуссит → З колломорфный ванадинит → окристаллизованный ванадинит; колломорфный ванадинит → З окристаллизованный деклуазит; окристаллизованный деклуазит → окристаллизованный ванадинит; оранжевый окристаллизованный вульфенит → окристаллизованный ванадинит; церуссит → З бесцветный окристаллизованный вульфенит. Ванадаты и молибдаты свинца на рудопроявлении Сиджак более поздние, чем карбонат-церуссит. В вульфенитсодержащих парагенезисах вульфенит преобладает над другими минералами.

На всей площади Угамского хребта шлиховым анализом установлены рассеянные по русловым потокам минералы V, Pb и Zn: ванадинит, церуссит, деклуазит, реже вульфенит и галенит. В коренных выходах в зонах трещиноватости среди известняков (C_2^1) встречаются мелкие проявления этой минерализации в кальцитовых прожилках. Однако вульфенит среди них не обнаружен, и единственная находка его в ассоциации с указанными минералами известна только для Сиджакского рудопроявления.

Морфология вульфенита. Для его кристаллов характерна хорошая огранка в форме усеченных дипирамид, с гранями пинакоида в вершинах (рис. 1). При сильном развитии последнего образуются кристаллы таблитчатого облика (см. рис. 1, а), а при слабом — дипирамидального (см. рис. 1, б). Кристаллы крупные. Средняя величина ребра грани (001) 1—2 см, максимальная

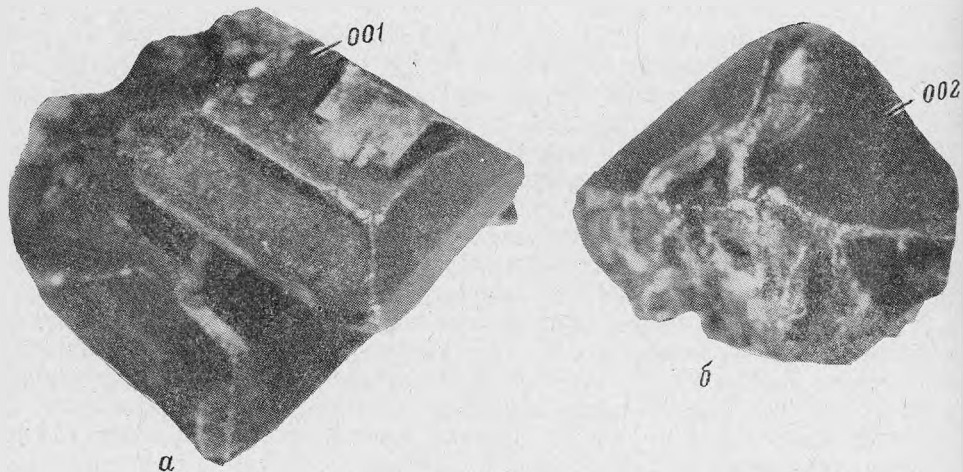


Рис. 1. Кристаллы вульфенита из Сиджака
а — таблитчатый; б — дипирамидальный. Увел. 2

Микротвердость оранжево-красного вульфенита

Ориентировка плоскости исследования	Нагрузка, <i>g</i>	Среднее значение <i>H</i> , <i>кг/мм²</i>	Число замеров	Исследователь
Полированная плоскость грани кристалла по (001)	20—30	170	5	С. И. Лебедева
Полированная плоскость ⊥ грани (001), вдоль удлинения кристалла	20—30	По «а» 160	3	»
		По «б» 203	3	
Грань (001) кристалла, изображенного на рис. 1, а	50	170	6	Э. А. Дунина-Барковская
Грань (102) кристалла, изображенного на рис. 1, б	50	194	6	»
Черные микровключения в сером вульфените	20	64	5	»

3,5—4, минимальная 0,1 см. Колломорфный вульфенит встречается редко в виде желваков размером 0,5—0,8 см.

Физические свойства. Особенностью вульфенитов Сиджака является очень красивая разнообразная окраска. Большинство кристаллов, в том числе и самые крупные, окрашены в оранжево-красный цвет. Изредка встречаются кристаллы с неравномерной окраской, причем отдельные их участки или даже внешние зоны сложены бесцветным вульфенитом. Наблюдались кристаллы с переходной окраской от оранжево-красной до желтой, желтые, совершенно бесцветные, полупрозрачные, серые и темно-серые. Последняя связана с микровключениями черного цвета. Для колломорфного вульфенита характерна кремовая окраска. Спайность в кристаллах несовершенная, излом полураковистый, блеск алмазный. У колломорфного вульфенита блеск восковой, переходный к алмазному. Микротвердость, замеренная для оранжево-красного вульфенита на приборе ПМТ-3 методом вдавливания алмазной пирамиды (Лебедева, 1963), находится в пределах 160—203 *кг/мм²* (табл. 1), что в переводе на шкалу Мооса или Хрущева составляет 3,5—4. В минералогических справочниках (Дэна и др., 1954) вульфенит отнесен к минералам третьей группы по относительной твердости. Удельный вес, измеренный микрометодом (Руденко, Василевский, 1957), равен для оранжевого вульфенита 6,55, а для бесцветного 6,6.

Люминесценция. Вульфенит не люминесцирует в катодных лучах. Термолюминесценция (при нагревании до 380°С и напряжении 1100 в) тоже не наблюдалась (аналитик Г. М. Сташков).

Химический состав. Чистые зерна вульфенитов различной окраски размером 0,1—0,2 мм, тщательно отобранные под бинокулярным микроскопом МБС-1, предварительно изучены полуколичественным спектральным анализом на кварцевом спектрографе ИСП-28, а затем химическими методами. Пять химических анализов различно окрашенных вульфенитов показали результаты, очень близкие друг к другу и к анализу вульфенита из Кызылэспе (табл. 2). Кроме указанных в табл. 2 химических элементов, во всех пробах полуколичественным спектральным анализом установлено присутствие тысячных долей процента марганца, меди и титана. В оранжевом вульфените химически определялся рений (0,0000%). В идеально чистом материале, отобранном из монокристалла и промытом в спирте, спектральным анализом определены те же элементы, которые получены при химическом анализе. Поэтому они отнесены к изоморфным и включены в эмпирическую формулу вульфенита (табл. 3). Свинец замещается частично кальцием, так как известна неполная изоморфная серия вульфенита с изоструктурным ему повелитом, а молибден замещается вольфра-

Химический состав вульфенитов

Оксиды	Из Сиджака					Из Кызылэспе (Янишевский, 1936)
	1	2	3	4	5	
PbO	60,25	60,07	60,07	60,45	60,46	60,75
CaO	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	—
MgO	0,03	0,03	0,07	0,07	0,10	—
FeO	0,11	0,23	0,21	0,17	0,19	0,27
MoO ₃	39,03	38,98	38,95	39,27	39,30	38,17
As ₂ O ₅	0,13	0,16	0,09	0,13	0,12	—
P ₂ O ₅	0,05	0,22	0,05	0,11	0,11	—
WO ₃	0,05	0,15	0,05	0,10	0,05	—
SO ₃	0,24	0,20	0,51	0,10	0,01	—
CrO ₃	0,05	0,015	—	0,005	0,005	0,18
Органика	—	—	—	—	0,25	—
Сумма	100,04	100,15	100,10	100,50	100,69	99,37

1—оранжево-красные кристаллы; 2—желтые кристаллы; 3—кремовый, натечный, пористый; 4—бесцветные кристаллы; 5—серые кристаллы с включениями черного цвета. Аналитик Т. Т. Мухова. Образец из Кызылэспе—буровато-красные кристаллы.

мом (изоструктурная серия к штольциту), хромом, мышьяком и серой (Дэна и др., 1954).

В связи с близостью химического состава изученных образцов пересчет на эмпирическую формулу проведен только для оранжево-красного вульфенита (см. табл. 2, обр. 1) по кислородному методу. Полученная формула (см. табл. 3) очень хорошо совпадает с теоретической (PbMoO₄).

Содержание Cr₂O₃ в изученных вульфенитах колеблется от 0,05 в оранжево-красном до 0,005% в бесцветном, т. е. увеличение содержания хрома даже в малых количествах приводит к резкому увеличению интенсивности красной окраски минерала. Хаберланд и Шрол (Haberlandt, Schroll, 1950)

Таблица 3

Расчет химического анализа оранжево-красного вульфенита
(см. табл. 2, обр. 1)

Компоненты	Содержание, вес. %	Мол. колич.	Атомн. колич.		Коэффициенты
			анионов	катионов	
PbO	60,25	26992	26992	26992	0,98
CaO	0,10	178	178	178	0,007
FeO	0,11	153	153	153	0,006
MgO	0,03	74	74	74	0,003
MoO ₃	39,03	27113	81339	27113	0,984
As ₂ O ₅	0,13	57	285	114	0,004
P ₂ O ₅	0,05	35	175	70	0,003
WO ₃	0,05	22	66	22	0,001
CrO ₃	0,05	53	159	53	0,002
SO ₃	0,24	300	900	300	0,011
Сумма	100,04		11221	55069	1,999 2,00

Расчетный фактор 110221:4=27555.
Формула вульфенита



объясняли оранжевую окраску природных вульфенитов присутствием з них хрома. Экспериментально ими получены кристаллы вульфенита с примесью хрома от 0 до 4%. Смена окраски в образцах происходила следующим образом: без хрома — бесцветный; 0,02—0,04% Cr — желто-оранжевый; 0,15% Cr — красновато-оранжевый; 0,6% Cr — оранжево-красный; 1,45 и 4% Cr — красный. Проанализированные природные образцы оранжевых и красных вульфенитов содержали от 0,02 до 0,26 Cr, а бесцветных — менее 0,0001%. Вульфенит с 0,05% Cr имел оранжево-красную окраску, как и сиджакский образец.

Изотопный состав свинца определен в чистой пробе оранжево-красного вульфенита. Анализ выполнен в Центральной аналитической лаборатории ВИРГА в Ленинграде. Содержание изотопов следующее (в %): Pb^{208} 52,4; Pb^{207} 21,2; Pb^{206} 25,1; Pb^{204} 1,36. Случайная относительная ошибка измерения составляет для Pb^{208} 1,2%; для Pb^{206} 1,2%; для Pb^{207} 2,0%; для Pb^{204} 8,0%.

Таблица 4

Изотопный состав вульфенита

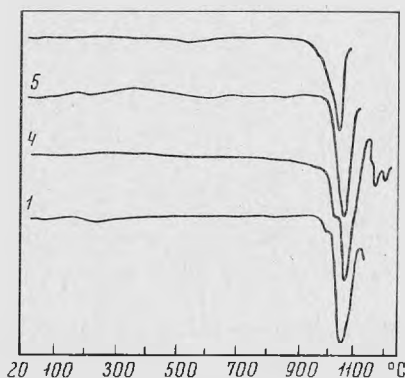
Материал, месторождение	Распространенность изотопов, отнесенная к $Pb^{204}=100\%$		
	Pb^{206}	Pb^{207}	Pb^{208}
Оранжево-красный вульфенит, Сиджак	18,45	15,58	38,53
Вульфенит и ванадинит, Тускон, штат Аризона, США (Ранкама, 1956 г.)	18,40	15,53	38,1
Рассчитанный изотопный состав свинца современного периода (Collins et al., 1952)	18,45	15,61	38,40

Распространенность изотопов свинца в вульфените из Сиджака (табл. 4), отнесенная к Pb^{204} , такая же, как у вульфенита из Тускона в США (Ранкама, 1956 г., по данным Нира) и у рассчитанного изотопного состава свинца современного периода (Collins et al., 1952).

Термическое изучение для трех образцов вульфенита различной окраски выполнено В. П. Ивановой в лаборатории ВСЕГЕИ. Полученные кривые нагревания для оранжево-красного, бесцветного и темно-серого вульфенитов (рис. 2) аналогичны друг другу и соответствуют эталону (Иванова, 1961). Они характеризуются глубоким эндотермическим эффектом в области температуры 1050—1060° С в связи с разложением вещества и его плавлением. Точка плавления вульфенита 1054° С (Дэна и др., 1954). При температуре 1100° С эндотермическая реакция сменилась экзотермической, вероятно, обусловленной кристаллизацией расплава.

Рис. 2. Кривые нагревания вульфенита из Сиджака

1 — оранжево-красный вульфенит; 4 — бесцветный вульфенит; 5 — темно-серый вульфенит (1, 4, 5 — соответствуют номерам в табл. 2), кривая без номера — эталонный вульфенит (Иванова, 1961)



Межплоскостные расстояния вульфенитов из Сиджака

Оранжево-красный		Желтый		Бесцветный		Темно-серый с черными включениями		Искусственный (ASTM)			Вульфенит (Михеев, 1957)	
<i>l</i>	$d_{\alpha/n}$	<i>l</i>	$d_{\alpha/n}$	<i>l</i>	$d_{\alpha/n}$	<i>l</i>	$d_{\alpha/n}$	<i>hkl</i>	<i>l</i>	$d_{\alpha/n}$	<i>l</i>	$d_{\alpha/n}$
3	5,06	2	5,04	2	5,17	1	5,07	101	11	4,96	—	—
5	(3,626)	5	(3,604)	5	(3,608)	5	(3,588)	—	—	—	—	—
—	—	—	—	1	(3,424)	1	(3,568)	—	—	—	—	—
10	3,275	10	3,290	10	3,299	10	3,272	112	100	3,244	10	3,17
6	3,060	5	3,052	6	3,1029	6	3,057	004	22	3,028	5	3,00
7	2,734	6	2,736	7	2,793	7	2,719	200	24	2,718	6	2,67
—	—	—	—	—	—	1	2,650	—	—	—	—	—
4	2,384	3	2,401	4	2,427	4	2,386	211	8	2,383	3	2,35
5	2,152	4	2,233	4	2,272	4	2,224	105	5	2,212	1	2,20
1	(2,121)	—	—	1	(2,164)	—	—	—	—	—	—	—
3	2,078	2	2,090	1	2,115	2	2,066	213	7	2,082	—	—
9	2,021	9	2,033	9	2,056	9	2,017	204	31	2,021	8	2,00
2	1,975	2	1,979	1	2,010	2	1,967	—	—	—	—	—
6	1,918	5	1,933	5	1,955	5	1,914	220	14	1,920	6	1,96
4	1,838	2	1,835	2	1,864	2	1,823	—	—	—	—	—
8	1,790	9	1,801	8	1,825	9	1,787	116	18	1,787	8	1,77
10	1,651	9	1,661	9	0,683	9	1,623	312,303	25	1,653	8	1,64
7	1,621	7	1,622	7	1,649	7	1,613	224	12	1,622	—	—
2p*	1,510	2	1,519	1p	1,518	1	1,512	008	3	1,515	1	1,50
1p	1,497	1p	1,501	1p	1,481	1	1,494	321,314	2	1,496	—	—
2p	(1,462)	1p	(1,460)	2p	(1,462)	1	(1,455)	—	—	—	—	—
3p	(1,441)	2	(1,446)	1p	(1,429)	2	(1,441)	—	—	—	—	—
2	1,410	1	1,416	1p	1,402	2	1,402	343,217	2	1,411	—	—
1p	(1,380)	1	(1,382)	3p	(1,381)	1	(1,381)	—	—	—	—	—
3p	1,359	2p	1,362	1p	1,359	3	1,352	400	3	1,359	1	1,35
5	1,319	6	1,324	7	1,342	5	1,315	208	7	1,3229	8	1,30
9	1,306	9	1,311	9	1,327	9	1,303	316	12	1,3085	—	—
1	1,274	1p	1,280	1p	1,295	2p	1,271	325	2	1,2802	—	—
7	1,250	7	1,255	6	1,269	6	1,249	332,413	5	1,2535	5	1,24
7	1,237	7	1,244	6	1,257	6	1,238	404	5	1,2400	—	—
7	1,217	7	1,218	6	1,233	7	1,213	420	5	1,2151	5	1,21
8	1,189	8	1,193	7	1,206	7	1,186	226	4	1,1889	5	1,182
8	1,155	8	1,157	8	1,170	8	1,150	1.1.10	3	1,1550	5	1,150
9	1,125	9	1,140	9	1,140	9	1,125	424,406	6	1,1277	6	1,120
1	(1,114)	1	(1,116)	1	(1,128)	1	(1,113)	—	—	—	—	—
1	(1,090)	1	(1,094)	2	(1,102)	1	(1,088)	—	—	—	—	—
8p	1,080	8	1,082	8	1,093	8	1,078	336	3	1,0814	5	1,075
10p	1,049	10	1,051	9p	1,059	10	1,047	512,503	5	1,0497	6	1,045
2	(1,037)	—	—	1	(1,048)	1	(1,036)	—	—	—	—	—
2	(1,016)	—	—	1	(1,026)	1	(1,015)	—	—	—	—	—
8p	1,012	9	1,013	8p	1,020	8p	1,011	408	2	1,0110	5	1,005
—	1,009	—	1,012	—	1,018	—	1,010	—	—	—	—	—
1	(1,004)	—	—	1	(1,011)	1	(1,003)	—	—	—	—	—
10	0,9904	9p	0,9922	10	0,9969	10	0,9901	—	4	0,9900	6	0,986
8	0,9894	—	0,9914	8	0,9948	8	0,9878	—	<1	0,9795	7	0,945

* p — размытая линия. В скобках — β -излучение.

Рентгенометрическое изучение. Выполнены четыре рентгенограммы для вульфенитов различной окраски и с различным содержанием примеси Cr_2O_3 . Чистота материала (размер зерен 0,05—0,1 мм) проверялась оптически

Параметры элементарной ячейки вульфенитов

Месторождение, цвет минерала	CrO ₂ , вес. %	a ₀						c ₀						Отношение c/a			
		hkl						hkl									
		4 0 4	3 3 2	3 3 6	4 2 0	4 2 0	4 0 4	3 3 6	2 0 8	1. 1. 10	4 0 6	3 3 6	2 0 8		1. 1. 10	4 0 6	
Сиджак							среднее	ошибка измере- ний									
Оранжево-крас- ный	0,05	5,441	5,442	5,436	5,443	5,443	5,443	±0,003	12,06	12,06	12,11	12,08	±0,01	2,223			
Желтый	0,015	5,456	5,439	5,444	5,449	5,448	5,448	±0,001	12,07	12,12	12,13	12,11	±0,01	2,223			
Бесцветный	0,005	5,515	5,502	5,483	5,516	5,506	5,506	±0,004	12,28	12,29	12,27	12,28	±0,01	2,233			
Вульфенит (Михеев, 1957)	—	—	—	—	—	5,415	—	—	—	—	—	12,00	—	—			
Искусственный	<0,001	—	—	—	—	5,435	—	—	—	—	—	12,11	—	—			

в спирте на часовом стекле под бинокулярным микроскопом МБС-2. Съемка проводилась на аппарате УРС-55 с железным излучением ($\lambda_{K\alpha} = 1,93728 \text{ \AA}$) в камере РКД. $D = 57,3 \text{ мм}$, $d_{\text{обр}} = 0,5 \text{ мм}$ при асимметричной закладке пленки. Режим съемки: 30 кВ, 12 мА, экспозиция 2 час. Замеры по дебаграммам выполнены как среднее из трех измерений. Рассчитан эффективный диаметр пленки и введены поправки на поглощение (Франк-Каменецкий и др., 1959). Результаты расчетов дебаграмм и эталоны приведены в табл. 5. По полученным дебаграммам рассчитаны параметры элементарной ячейки для оранжево-красного, желтого и бесцветного вульфенитов (табл. 6). При выборе индексов отражений для расчета параметров тетрагональной сингонии мы руководствовались работой А. И. Заславского (1968). Средний результат выполнялся по четырем парам индексов для a_0 и трем для c_0 . При расчете параметров индексы отражений для наших образцов взяты при сравнительном индексировании с эталонным образцом из ASTM.

Из данных табл. 5 и 6 отчетливо видно увеличение всех межплоскостных расстояний и соответственно параметров элементарной ячейки для ряда: оранжево-красный → желтый → бесцветный вульфенит. Увеличение количества хрома в вульфените приводит к уменьшению параметров его элементарной ячейки, что, по-видимому, объясняется меньшим размером ионного радиуса хрома по сравнению с молибденом ($\text{Cr}^{6+} - 0,52$, $\text{Mo}^{6+} - 0,62$). Установленная зависимость свидетельствует об изоморфном вхождении хрома в кристаллическую структуру вульфенита. Замещение даже незначительной части молибдена хромом в кристаллической решетке минерала уменьшает объем элементарной ячейки почти при стабильной величине отношения кристаллографических осей.

Черные микровключения в бесцветном вульфените придают ему темно-серую окраску. Они различимы под бинокулярным микроскопом МБС-2 при увеличении в 16 раз. Вещество по виду землистое, при надавливании хрупкое, твердость низкая (см. табл. 1), оставляет серую черту на фарфоровой пластинке. Под микроскопом в полированных шлифах из темно-серого вульфенита видно, что рельеф и отражательная способность описываемых микровключений ниже, чем у вульфенита. На снимках под электронным микроскопом частицы микровключений непрозрачные, имеют изометричную форму с неровными краями. Рентгенограммы и термограммы вульфенитов, обогащенных черными включениями и свободных от них, не отличаются друг от друга (см. табл. 4; рис. 2). В HCl включения не растворяются. Химическим анализом (см. табл. 2) в темно-сером вульфените установлено 0,25% углерода (два определения). Микроскопические размеры включений не позволяют их точно диагностировать. Вероятно, они принадлежат графиту.

Выводы

1. Исходя из условий нахождения (молодая тектоническая зона) и парагенезиса, можно предполагать образование вульфенита Сиджака в четвертичное время, что подтверждается также определением изотопного состава свинца в нем.

2. Выявлена схема последовательности минералообразования: мелкокристаллический церуссит (замещение) → колломорфный вульфенит 1 (замещение), колломорфный ванадинит 1 → окристаллизованный деклуазит → окристаллизованный вульфенит 2 → окристаллизованный ванадинит.

3. Изучением химического состава и физических свойств вульфенитов на крупных (до 0,5 см в поперечнике) кристаллах установлено:

а) Cr^{6+} входит изоморфно в кристаллическую решетку минерала, замещая Mo^{6+} ;

б) примесь хрома в вульфените в количестве сотых долей процента влияет на его структуру. Замещение Mo^{6+} с ионным радиусом 0,62 Å хромом с меньшим радиусом (0,52 Å) уменьшает межплоскостные расстояния и параметры элементарной ячейки вульфенита;

в) микроскопическая примесь хрома в вульфените изменяет его окраску от бесцветной до оранжево-красной, играя роль хромофора; между интенсивностью окраски и примесью хрома существует прямая зависимость;

г) твердость вульфенитов по микровдавливанию составляет 160—203 кг/мм², что в переводе на шкалу Мооса и Хрущева равно 3,5—4. Эти цифры выше указанных в минералогических справочниках.

ЛИТЕРАТУРА

- Голованов И. М. Гипергенные минералы свинца из Кургашинокана. — Записки Узб. отд. Всес. мин. об-ва, 1959, вып. 13.
- Дэна Дж. Д., Дэна Э. С., Пелач Ч. и др. Система минералогии. Т. II, пт 2. ИЛ, 1954.
- Заславский А. И. Зависимость точности определения параметров некубических ячеек от индексов рефлексов. — Кристаллография, 1968, 13, вып. 2.
- Иванова В. П. Термограммы минералов. — Записки Узб. отд. Всес. мин. об-ва, 1961, ч. 90, вып. 1.
- Костов И. Примос КЪМ морфологията на вульфенита. — Трудове върху геологията на България, серия геохимия и полезни ископаеми. София, кн. II, 1961.
- Лебедева С. И. Определение микротвердости минералов. Изд-во АН СССР, 1963.
- Михеев В. И. Рентгенометрический определитель минералов. Госгеолтехиздат, 1957.
- Новохатский И. П. Вульфенит в месторождениях Казахстана и Средней Азии. — Изв. Каз. фил. АН СССР, серия геол., 1945, № 4-5.
- Ранкама К. Изотопы в геологии. ИЛ, 1956.
- Руденко Н. И., Василевский М. М. Упрощенный способ определения удельных весов минералов. — Записки Всес. мин. об-ва, 1957, ч. 86, вып. 1.
- Смирнов С. С. Зона окисления сульфидных месторождений. Изд-во АН СССР, 1955.
- Франк-Каменецкий В. А., Кондратьева В. В., Каменцев Е. Руководство для лабораторных занятий по рентгеновскому исследованию минералов. Изд-во ЛГУ, 1959.
- Чухров Ф. В. Зона окисления сульфидных месторождений степной части Казахстана. Изд-во АН СССР, 1950.
- Чухров Ф. В. О цинковых глинках из месторождения Акджал в Казахстане. — В кн. «Кора выветривания». Вып. 2. Изд-во АН СССР, 1956.
- Янишевский Е. М. Поведение молибдена в условиях окисленной зоны рудных месторождений. — Труды МГРИ, 1936, 1.
- ASTM Diffraction Data Cards and Alphabetical and Grouped Numerical Index of X-ray Diffraction-Data.
- Burgess J. A. The halogen salts of silver and associated minerals of Tonopah, Nevada. — Econ. Geol., 1911, № 1.
- Collins C. B., Farguhar R. M., Russell R. D. Variations in the relative abundances of the isotopes of common lead. — Phys. Rev., 1952, 88.
- Haberlandt H., Schroll E. Eärbung und Fluoreszenz des Wulfenits im Zusammenhang mit Gehalt an Chrom andern. — Spurenelemented. Basel. Experientia, 1950, 6.