Доклады Академии наук СССР
1955. Том 104, № 3

МИНЕРАЛОГИЯ

Я. Н. БЕЛЕВЦЕВ, Л. Г. БЕРНАДСКАЯ и И. С. УСЕНКО

ОБ АМФИБОЛОВОМ АСБЕСТЕ ИЗ КРИВОГО РОГА

(Представлено академиком А. Г. Бетехтиным 31 III 1955)

Буровыми работами последних лет на территории рудника им. Кагановича обнаружен асбест. Многочисленные послойные жилки асбеста образуют асбестовую зону, расположенную в седьмом железистом горизонте среди полосчатых амфиболо-магнетитовых роговиков, состоящих из магнетито-кварцевых, кварцевых и куммингтонито-рибекитовых прослоев, ширина которых не превышает 1—2 мм.

Образование асбеста идет за счет куммингтонита и обычно приурочено к участкам с интенсивно развитой складчатостью. Асбест образует небольшой мощности прожилки, располагающиеся параллельно полосчатости вмещающих их роговиков (рис. 1) и совместно с ними сложенные в складки. Мощность прожилков асбеста колеблется от 5 до 15 мм, в отдельных раздувах достигает 25 мм и еще реже 50 мм. Асбест представлен поперечно-волокнистой разновидностью, волокна его несколько изогнуты и располагаются под углом 50—60° по отношению к вмещающим плоскостям асбестовых жил. Длина волокна достигает 20—30 мм, реже 50—60 мм.

Макроскопически асбест серебристо-серого цвета со слабым желтоватым оттенком, легко делится на тончайшие волокна. В отдельных участках он содержит единичные тонкие волокна голубоватого цвета, принадлежащие, повидимому, рибекиту.

При исследовании под микроскопом видно, что асбест слабо окрашен в желтоватый цвет и образует сростки тонких волокон с одинаковой оптической ориентировкой, обусловливающей их одновременное почти прямое угасание. Уменьшение величины угла угасания в амфибол-асбестах, принадлежащих моноклинной разновидности, некоторые исследователи (1) объясняют тем, что даже самые тонкие волокна представляют собой пучки элементарных волоконец, повернутых вокруг своей оси на разные углы, в связи с чем исследователь под микроскопом наблюдает угол угасания не монокристаллов, а пучка волокон.

Асбест часто содержит много тонких вростков кварца, расположенных между его волокнами и вытянутых параллельно их удлинению; присутствуют в нем также мелкие идиоморфные кристаллики магнетита (рис. 2). Иногда в асбесте обнаруживаются тонкие мелкозернистые кварцевые участки с мостовидной структурой, расположенные своей вытянутостью согласно с удлинением волокон. Они обычно содержат небольшое количество тонких асбестовых волокон. Кое-где вдоль продольных трещин отдельные волокна амфибола приобретают голубоватую окраску, что, очевидно, связано со щелочным метасоматозом, в результате которого куммингтонит замещается рибекитом.

В асбестовой зоне, помимо чисто асбестовых, наблюдаются асбестово-кварцевые прожилки, состоящие главным образом из кварца с небольшой примесью волокон асбеста. В этих прожилках кварц образует столбчатые зерна, расположенные параллельно волокнам асбеста.

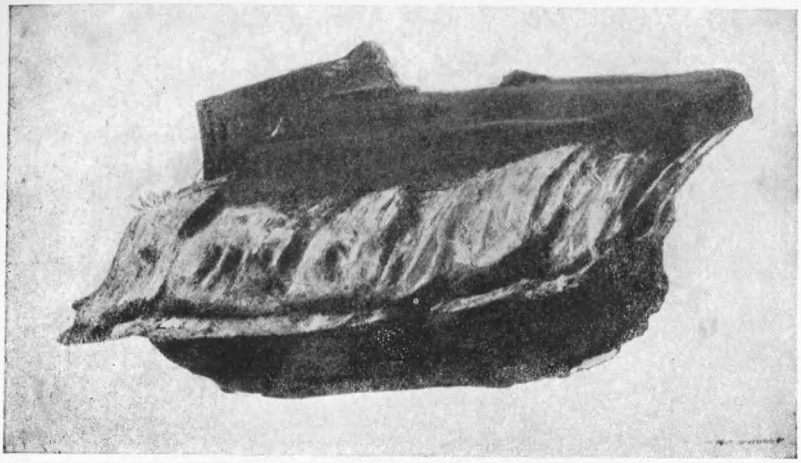


Рис. 1. Прожилки амфиболового асбеста в амфиболо-магнетитовом роговике. Размер образца 3,5 × 9 см



Рис. 2. Амфиболовый асбест с вростками кварца и магнетита. Николи скрещены, 15×

Оптические исследования амфиболового асбеста дали следующие результаты: показатель преломления по $N_g > 1{,}698 < 1{,}702$; по $N_p > 1{,}674 < 1{,}678$; $N_g - N_p = 0{,}024$; плеохроизм от бледножелтого по N_g до почти бесцветного по N_p; удлинение положительное, знак минерала отрицательный. Удельный вес 3,34. В крепкой соляной кислоте не растворим.

Исследуемый амфиболовый асбест был подвергнут химическому, качественному спектральному, рентгеноструктурному и термическому анализам. Химический анализ асбеста, выполненный в химической лаборатории Института геологических наук АН УССР, приведен в табл. 1.

Кристаллохимическая формула асбестового амфибола, вычисленная по методу В. С. Соболева, имеет следующий вид:

$$(Na_{0,1}Ca_{0,28})_{0,38}Mg_{1,56}Fe^{..}_{4,44}F^{...}_{0,19})_{6,19}(OH_{0,18}O_{1,82})_2[Al_{0,10}Fe^{...}_{0,11}Si_{7,79}O_{22}].$$

Сопоставление данных химического анализа описываемого амфиболового асбеста с уже имеющимися в литературе данными химических анализов куммингтонита из Кривого Рога ([4], [6]), Уттерсвика ([3]) и Новой Зеландии ([7]) (табл. 1) позволяет прийти к выводу, что исследуемый амфиболовый асбест по химическому составу соответствует куммингтониту.

Таблица 1

Окислы	Куммингтон. асбест из Кривого Рога	Куммингтонит из б. Тимашевой([4])	Куммингтонит из Кривого Рога ([4])	Куммингтонит с р. Миконуи в Уэстленде ([7])	Куммингтонит из Уттерсвика в Зодерманланде([3])
SiO_2	50,80	49,10	53,40	52,9	50,74
TiO_2	следы	—	нет	0,06	0,06
Al_2O_3	0,58	2,00		2,37	0,88
Fe_2O_3	2,95	7,53	3,37	0,0	1,80
FeO	34,03	33,19	31,18	28,0	24,13
MnO	0,056	0,40	—	0,97	7,38
MgO	6,87	6,60	9,80	13,71	10,57
CaO	1,68	0,85	нет	0,55	2,00
Na_2O	0,25			0,1	0,22
K_2O	—		следы		0,08
H_2O^+	2,80	0,45	2,60	1,04	1,94
H_2O^-	0,30	0,28	0,06		
F_2	—	—	—		0,07
Сумма	100,39	100,40	100,41	99,60	99,87

Следует отметить, что амфибол куммингтонитового типа ряда грюнерит — купферит широко распространен в метаморфических железистых породах Кривого Рога ([4], [6]). Однако до сих пор в литературе не упоминалось о находках в том районе куммингтонитового асбеста. Правда, В. Е. Тарасенко ([6]) отмечал способность грюнерита расщепляться на тончайшие волокна.

Описываемый нами амфиболовый асбест ближе всего стоит к сильно железистой разновидности светлого амфибола куммингтонитового ряда из б. Тимашевой по р. Ингулец, названной В. Е. Тарасенко ([6]) грюнеритом, однако, судя по приведенному химическому анализу этого амфибола, по соотношению купферитовой и грюнеритовой молекул он должен быть отнесен к сильно железистому куммингтониту, так как грюнеритом принято называть амфиболы этого ряда с содержанием купферитовой молекулы не более 10%. Отличие нашего амфибола от грюнерита Тарасенко состоит в несколько более низких содержаниях глинозема, трехвалентного железа и в немного бо́льших содержаниях окиси кальция и щелочей.

Куммингтонит Половинкиной ([4]) отличается немного меньшей железистостью и бо́льшим содержанием окиси магния. Присутствие незначительного количества щелочей (0,28%) в нашем асбесте можно связать с явлением частичного ощелачивания (рибекитизации) его, сопровождающегося окислением железа. Очевидно, этим же объясняется и присутствие трехвалентного железа в нем. Возможно, часть трехвалентного железа, показанного в анализе, принадлежит магнетиту, наблюдающемуся в незначительном количестве в виде включений в асбесте и не удаленному при очистке.

Спектральный анализ указывает на присутствие в асбесте, помимо окислов, приведенных в химическом анализе, ничтожных количеств меди, цинка и следов никеля, олова и галлия.

Расчет рентгенограммы * показывает (табл. 2), что в амфиболовом асбесте присутствуют не отмеченные для куммингтонитов в известной нам литературе избыточные линии с $d = 11{,}65$ (I оч. слабая); $d = 10{,}37$ (I оч. слабая); $d = 9{,}18$ (I ср. слабая); $d = 1{,}40$ (I оч. слабая). Появление на нашей рентгенограмме первых трех линий, возможно, объясняется бо́льшим диаметром камеры, в которой снимался асбест.

Таблица 2

Технические условия съемки: Fe-антикатод; $D = 68{,}9$ мм; $d = 1$ мм; 36 кв; 12 ма; экспозиция 18 час. (с ловушкой)

Куммингтон. асбест из Кривого Рога		Куммингтонит Кривого Рога по Половинкиной (4)		Куммингтонит по Михееву и Дубининой (3)		Куммингтон. асбест из Кривого Рога		Куммингтонит Кривого Рога по Половинкиной (4)		Куммингтонит по Михееву и Дубининой (3)	
$\frac{d_\alpha}{n}$	I	$\frac{d_\alpha}{n}$	I	$\frac{d_\alpha}{n}$	I	$\frac{d_\alpha}{n}$	I	$\frac{d_\alpha}{n}$	I	$\frac{d_\alpha}{n}$	I
11,65	оч. сл.	—	—	—	—	1,69	ср. сл.	—	—	1,69	2
10,37	» »	—	—	—	—	1,66	ср.	1,67	8	1,66	7
9,18	ср. сл.	—	—	—	—	1,62	»	1,63	4	1,63	4
8,33	сильн.	—	—	8,32	6	1,60	оч. сл.	1,60	3	1,60	3
4,66	оч. сл.	4,64	1	4,65	2	1,57	ср.	1,59	1	1,56	1
4,18	ср. сл.	4,14	1	4,15	2	—	—	(1,55)	4	(1,55)	1
3,92	» »	3,88	3	3,87	4	1,54	ср.	1,53	7	1,52	7
3,65	» »	3,60	2	3,60	2	1,48	»	1,47	2	1,46	2
3,41	» »	3,46	3	3,45	5	1,45	оч. сл.	(1,44)	1	(1,43)	1
3,31	ср.	3,35	10	—	—	1,42	сильн.	1,40	8	1,41	10
—	—	3,25	3	3,26	7	1,40	оч. сл.	—	—	—	—
3,07	оч. сильн.	3,06	10	3,07	6	1,38	» »	1,38	4	1,38	4
3,02	оч. сл.	(3,04)	1	(3,05)	4	—	—	1,37	1	—	—
2,94	» »	2,95	1	2,99	2	1,34	сл.	1,33	3	1,33	3
2,79	сильн.	2,77	10	2,76	10	—	—	—	—	1,30	2
2,69	ср.	2,63	6	2,62	7	1,32	сильн.	1,30	7	1,30	9
2,54	»	2,52	5	2,51	7	1,29	сл.	1,27	2	1,28	4
2,47	»	(2,44)	1	(2,42)	2	1,27	оч. сл.	1,26	2	1,26	2
2,32	сл.	2,30	4	2,30	8	1,24	» »	1,23	3	1,23	3
2,23	сильн.	2,24	1	2,23	2	1,20	» »	1,20	2	—	—
—	—	2,20	6	2,19	9	1,18	сл.	1,18	6	1,19	5
2,09	оч. сл.	2,10	2	2,10	4	1,17	оч. сл.	1,17	1	1,17	3
2,02	» »	2,06	2	2,04	4	—	—	1,15	1	—	—
1,97	» »	1,97	3	1,96	4	—	—	1,12	2	—	—
1,88	» »	—	—	1,88	2	—	—	1,08	3	—	—
1,83	сл.	1,84	4	—	—	—	—	1,06	2	—	—
1,79	оч. сл.	1,80	1	—	—	—	—	1,04	6	1,04	4
1,74	» »	1,72	1	—	—						

В снимке нашего асбеста наблюдаются линии, не отмеченные для куммингтонита Кривого Рога, но фиксирующиеся для куммингтонита Уттерсвика с $d = 8{,}33$ (I сильная); $d = 1{,}88$ (I оч. слабая); $d = 1{,}69$ (I ср. слабая).

Следует также отметить наличие в исследуемом асбесте линий, указанных для куммингтонита Кривого Рога, но отсутствующих на рентгенограмме куммингтонита из Уттерсвика, с $d = 3{,}31$ (I средняя); $d = 1{,}83$ (I оч. слабая); $d = 1{,}79$ (I оч. слабая); $d = 1{,}74$ (I оч. слабая); $d = 1{,}20$ (I оч. слабая).

* Рентгенограмма асбеста снята в лаборатории Киевского университета Г. К. Гутниченко.

Рентгеновский снимок описываемого асбеста не имеет линий, отмеченных для обоих упомянутых куммингтонитов, с $d = 3{,}25—3{,}26$ ($I = 3—7$); $d = 2{,}20—2{,}19$ ($I = 6—9$); $d = 1{,}55$ ($I = 4—1$). Не содержит он также линий, присутствующих в рентгеновской характеристике криворожского куммингтонита, но не упоминающихся для куммингтонита из Уттерсвика, с $d = 1{,}37$ ($I = 1$; $d = 1{,}15$ ($I = 1$); $d = 1{,}12$ ($I = 2$); $d = 1{,}08$ ($I = 3$); $d = 1{,}06$ ($I = 2$). Наконец, нужно указать на отсутствие в нем также линий с $d = 1{,}30$ ($I = 2$), присутствующей на рентгенограмме куммингтонита из Уттерсвика, но не установленной для куммингтонита Кривого Рога.



Кривая нагревания асбеста

Рис. 3. Кривая нагревания асбеста

Данные рентгенограммы нашего асбеста в общей сложности хорошо сопоставляются с литературными данными. Присутствие незначительного количества избыточных линий на нашей рентгенограмме и отсутствие на ней некоторых линий, отмеченных то на одной, то на другой из приведенных для сравнения рентгенограмм куммингтонитов, могут объясняться различными условиями съемки.

Термический анализ асбеста фиксирует два экзотермических эффекта. На термограмме, полученной дифференциальным методом, видно, что с 500° начинается выделение тепла, вызванное, очевидно, окислением FeO; в точке, соответствующей 620°, повидимому, начинается интенсивное выделение воды и происходит взаимная компенсация эндотермического и экзотермического эффектов, что выражается в понижении кривой. Оба процесса идут параллельно с одинаковой интенсивностью до 880°. При 880° снова наблюдается повышение кривой. Это явление, вероятно, можно объяснить тем, что в точке, соответствующей 800°, прекращается выделение воды, а интенсивное окисление железа продолжается до 910°.

Все приведенные выше данные исследования амфиболового асбеста позволяют отнести его к сильно железистому куммингтониту с 26% купферитовой молекулы.

Генезис куммингтонита Кривого Рога большинством исследователей связывается с ранними стадиями гидротермального метасоматоза, сопровождающегося привносом железа. Повидимому, в результате этого метасоматоза в амфиболо-магнетитовых роговиках образовались чисто амфиболовые прослои, которые под влиянием дальнейшего метаморфизма, приуроченного к узким зонам смятия, перекристаллизовывались в асбест.

Поступило
25 III 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] В. В. Аршинов, Неметаллические ископаемые СССР, 1, М.—Л., 1936. [2] В. Н. Винчелл, Оптическая минералогия, 1949. [3] В. И. Михеев, В. Н. Дубинина, Зап. Лен. горн. инст., 13, 1 (1939). [4] Ю. Ир. Половинкина, Минер. сборн. Львовск. геолог. общ., № 7 (1953). [5] В. С. Соболев, Введение в минералогию силикатов, Львов, 1949. [6] В. Е. Тарасенко, Изв. Геол., ком., 22 (1903). [7] Brain Mason, Am. Mineral., 38, 9, 10 (1953).