

М.-А. КАШКАЙ, Р. М. АЛИЕВ

НОВЫЙ МИНЕРАЛ КАЛЬЦИОКОПИАПИТ (ТУСИИТ¹) ИЗ ГРУППЫ КОПИАПИТА И О ХАРАКТЕРИСТИКЕ ЭТОЙ ГРУППЫ ВООБЩЕ

Копиапит является наиболее распространенным в природе минералом трехвалентного железа из класса сульфатов. Этот водный сульфат железа впервые был описан Г. Розе [41], которому В. Гайдингер [26] дал название копиапита (по местности Копиапо в Чили). Впоследствии он изучался многими авторами. О копиапите имеется большая литература, преимущественно за рубежом. На территории Советского Союза копиапиты обнаружены в зонах окисления многих месторождений, но детальных исследований их не проводилось.

Принимая во внимание недостаточность в отечественной литературе сведений об этой группе гипергенных минералов и ряд неточностей, обнаруженных в некоторых опубликованных работах, мы сочли целесообразным дать общую характеристику минералов группы копиапита, включив в описание наши данные о новом минеральном виде.

Кальциокопиапит был установлен нами при исследовании гипергенных минералов контакт-метасоматического типа Дашкесанского железорудного месторождения в Азербайджане. Этот минерал представляет собой порошкообразную массу или образует зернистые корочки, выплеты серовато-желтого и буро-желтого цветов с совершенной спайностью. Всесторонние детальные исследования тщательно отобранного под лупой материала позволили установить принадлежность его к минералам группы копиапита, но с оригинальным химическим составом. Оказалось, что минерал с исключительно кальциевым двухвалентным основанием в литературе не был известен, хотя Л. Г. Берри [16] предполагал возможность нахождения такого копиапита.

Химическая природа копиапита

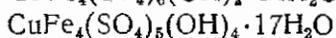
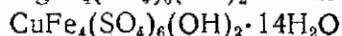
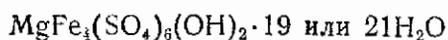
По своей химической природе минералы группы копиапита являющиеся водными сульфатами, содержащими гидроксил, должны быть отнесены, в основном, к двойным сульфатам трехвалентного железа с одно- или двухвалентными металлами.

Химическая формула копиапита была предложена Г. Розе [41] в виде $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SO}_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ и принята Р. Шарицером [47], Mc. Sang-

¹ Новый минерал кальциокопиапит (тусиит) предлагаем назвать по имени генерального азербайджанского астронома и естествоиспытателя XIII в. Магомета Масредина Туси.

hey [33] и др. Затем в эту формулу пытались ввести изменения в отношении содержания молекул воды: $19\text{H}_2\text{O}$ —Г. Линк [30], $16\text{H}_2\text{O}$ —Л. Дарапский [20], $17\text{H}_2\text{O}$ —Э. Позняк и Г. Э. Мервин [40] и др. В. Г. Мелвилл и В. Линдгрэн [36] химическую формулу копиапита написали в следующем виде: $\text{RO} \cdot 2\text{R}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SO}_3 \cdot 2\text{OH}_2\text{O}$. С некоторым изменением в отношении молекул воды, эта формула была принята Р. Ширцером [48]— n 20 — $23\text{H}_2\text{O}$ или с m ($7\text{SO}_3 \cdot 26$ — $27\text{H}_2\text{O}$) и Т. Л. Волкером [53]— $22\text{H}_2\text{O}$.

Дальнейшая эволюция формулы копиапита была выражена в исследованиях М. К. Бенди [11]:

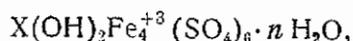


В целях выяснения химической природы минералов группы копиапита мы собрали из литературы почти все химические анализы в количестве 51, которые наряду с химическим анализом нового минерала тусиита, идущего под № 46, представлены в табл. 1.

Л. Г. Берри [12, 13], затем совместно с К. Пэлачем, М. А. Пикокком [37], детально изучив хорошо развитые кристаллы копиапита из Чукикамата (Чили, анализ № 12, табл. 1) установили, что элементарная ячейка копиапита содержит следующее число атомов:

Fe^{+2} —0,08; Al —0,41; Fe^{+3} —4,18; S —6,09; O —25,24 (исключая H_2O) и H_2O —20,34¹.

Число атомов серы в ячейке очень близко к шести; если количество алюминия и трехвалентного железа в избытке того, что необходимо для получения его обычного сульфата добавить к двухвалентному железу, то получается общий кислородный эквивалент, очень близкий к единице. Содержание же общего кислорода (исключая кислород воды) приближается к 25; из них 18 для серы, 6—для трехвалентного железа и один для остальных элементов. Поэтому содержание ячейки было выражено следующим образом:



где X — Fe^{+2} , Al и Fe^{+3} , составляющие один кислородный эквивалент, а $n=19$.

Аналогично было доказано, что элементарная ячейка копиапита из Сьерра-Горда (Чили) (табл. 1, анализ 7) имеет следующее содержание элементов:

Fe^{+3} —4,85; S —5,89; O —24,94 (исключая кислород воды) и H_2O —19,66.

Опять получается шесть атомов серы, 25 кислородных атомов (за исключением H_2O), а кислородный эквивалент трехвалентного железа в избытке того, что необходимо для образования обычного сульфата его, приближается к единице.

Как указал Л. Г. Берри [16] нет сомнения в том, что правильным числом атомов серы в ячейке является 6, а не 5, как впервые было предложено В. Г. Мелвиллем и В. Линдгреном [36], а затем Т. Л. Волкером [53], а общее число кислородных атомов, за исключением воды, равно 25. Так как число кислородных атомов является менее досто-

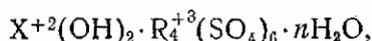
¹ Сумма $\text{H}_2\text{O} + (\text{OH})_2$

вероятно и не так тщательно исследовалось как число атомов серы, Л. Г. Берри [16] приводит много анализов, выраженных в атомных пропорциях на основании шести атомов серы. По приводимым им химическим анализам в упомянутой работе, а также некоторым анализам копиапита, появившимся после Л. Г. Берри, которые нами вычислены на содержание элементарной ячейки, была составлена табл. 1. Анализы в этой таблице располагаются по вертикальным колонкам с результатами химического анализа в верхней части таблицы в порядке увеличения суммы весовых процентов двухвалентных элементов и соответствующими числами атомов в элементарной ячейке, на основании шести атомов серы, внизу.

Атомы, составляющие компонент X в структурной формуле, включающие трехвалентное железо (в избытке 4 атомов), даются так же, как у Л. Г. Берри [16], сначала, затем следует сумма кислородных эквивалентов этих атомов. По некоторым анализам, где трехвалентное железо достигает менее четырех атомов, добавляется нужное количество алюминия. Таким образом получается общее количество компонента R⁺³ равное 4 атомам с кислородным эквивалентом 6 атомов. Число атомов серы на основании вычислений равняется 6, с кислородным эквивалентом 18 атомов [16]. Затем приводится общее количество кислородных эквивалентов X, R и S. В конце же указывается общее содержание H₂O.

Согласно существовавшим тогда представлениям, Ф. А. Гюнье [11] считал, что компонент FeO в анализе № 12 (сравни с анализом того же материала № 1), обнаруженный в количестве 0,44 весовых процентов, является примесью чуждой структуре исследуемого минералла. Так же поступили В. А. Николаев и Н. К. Разумовский [7] с анализом копиапита из Александровского хребта (анализ № 17, сравни с тем же анализом № 2, табл. 1), считая обнаруженную в анализе закись железа примесью, вызванной наличием ремерита (анализ № 2).

Вычисление Л. Г. Берри [16] показывает, что общей структурной формулой минералов группы копиапита действительно является указанная выше:



где X—один кислородный эквивалент одного или нескольких из следующих элементов:

Na, K, Cu, Zn, Fe⁺², Mn, Mg, Ca, Al и Fe⁺³, R—Fe⁺³, Al.

Это изменение в характере X-ового компонента вызывают некоторые изменения констант при кристаллографических и оптических исследованиях.

По изменению этого же X компонента в природных материалах, устанавливались разновидности копиапита, присваивая минералу названия согласно присутствующему элементу. Так, у Л. Г. Берри [15] и Л. Спенсера [40] приводятся названия феррокопиапита, феррикопиапита и магнископиапита, М. К. Бенди (1938) предложил купрокопиаптит, а впоследствии Л. Г. Берри (1947) выделил и алюминиокопиаптит.

К феррикопиапиту Л. Г. Берри [16] отнес те минералы и искусственные соединения, в которых X компонент формулы в основном трехвалентное железо (анализы № 3, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 13, 14, 21), к алюминиокопиапиту—те, в которых X в основном Al (анализы № 10,

12, 16, 18, 19, 45, 50; в анализах № 16, 18, 19 и 45 часть Al включена в компонент R^{+3} , а в анализах № 12, 10 и 50 полностью включено в компонент X); к магнезиокопиапиту,—те, где X в основном представлен Mg (анализы № 29, 30, 31, 32, 35, 37, 41, 42, 44, 47); к феррокопиапиту—те, в которых X в основном двухвалентное железо (анализы № 34 и 89).

В. Мелвилл и В. Линдгрэн [36] под названием ноксвилит описали минерал из Ноксвила (Калифорния, анализ № 51), который впоследствии Э. С. Ларсен [28] отнес к копиапиту. Л. Г. Берри [16] отмечает, что физические и оптические свойства „ноксвилита“ оставляют мало сомнения в том, что он является копианитом, хотя анализ мало соответствует общей формуле копиапита и, возможно, Cr присутствует за счет примеси редингтонита $(Fe, Mg, Ni)(Cr, Al)_2(SO_4)_4 \cdot 22H_2O$, с которым он часто ассоциирует.

В системе минералогии Дж. Дэна и другие [3] приводятся, кроме упомянутых названий минералов из группы копиапита, также названия нескольких разновидностей, составленных на основе видового названия, с прибавлением к нему прилагательных, соответствующих присутствующим химическим элементам. Согласно этому, в анализах № 29, 45 и 48 представлены алюминийсодержащий разновидности вышеуказанных минеральных видов, а именно — анализ № 29 представляет алюмомагнезиокопиапиту, анализ № 45 — алюмокопиапиту (алюмоферрикопиапиту), а анализ № 48 — алюмокупрокопиапиту.

В феррикопиапите Л. Г. Берри [16] содержание Fe^{+3} в избытке против формулы, вследствие окисления закиси железа или замещения Fe^{+3} в частях X формулы. Дж. Дэна и другие [3] отмечают это как железистая разновидность копиапита. Однако, как нам кажется, данное название неудачно потому, что согласно принятой минералогической номенклатуре [2] минеральные разновидности, выделяемые при участии трехвалентного железа, называются железными, правильнее ферри, а не железистыми, правильнее ферри, показывающими присутствие двухвалентного железа¹. Поэтому целесообразно сохранить название феррикопиапиту, предложенное Л. Г. Берри, для самостоятельного минерального вида группы копиапита, у которого X компонент формулы в основном трехвалентное железо, а феррокопиапиту для минерального вида, у которого X-вая часть формулы в основном представлена двухвалентным железом, т. е. тот вид, который в системе минералогии Дж. Дэна и др. [3] описан под названием копиапиту. В этом случае, как это делается почти всеми авторами, группу этих минералов можно было бы назвать группой копиапита, под названием копиапиту, подразумевая все минеральные виды и разновидности, входящие в эту группу, а не только один минеральный вид — феррокопиапиту.

В соответствии с требованиями, предъявляемыми к новым минеральным видам, обнаруженный нами минерал из Дашкесанского железорудного месторождения (анализ № 46), у которого X в формуле выражен почти исключительно кальцием, нужно считать новым минеральным видом группы копиапита. Отметим, что окись кальция присутствует наряду с другими двухвалентными основаниями в довольно многочисленных анализах минералов группы копиапита из различных месторождений: № 23 — Уэльва, Испания, № 25 — Чили, № 31 — г. Санта-Мария, № 34 — Сульфур Банк, Калифорния, № 41 — Кладно,

¹ Сравните [2] $(Mg, Fe)Cr_2O_4$ ферро магнезиохромит; $Mg(Cr, Fe)_2O_4$ —ферро магнезиохромит; $(Mg, Fe)(Cr, Fe)_2O_4$ ферро-ферри магнезиохромит.

Чехословакия, № 50 — Држигло, Италия. Но не был найден минеральный вид, в котором X полностью был бы представлен кальцием. Поэтому, считая найденный нами минерал новым видом — кальциокониапитом, мы предлагаем назвать его тусиитом, как самостоятельный минеральный вид. Пересчитывая химический анализ (анализ № 46, табл. 1), для этого нового кальциокониапита получаем формулу:

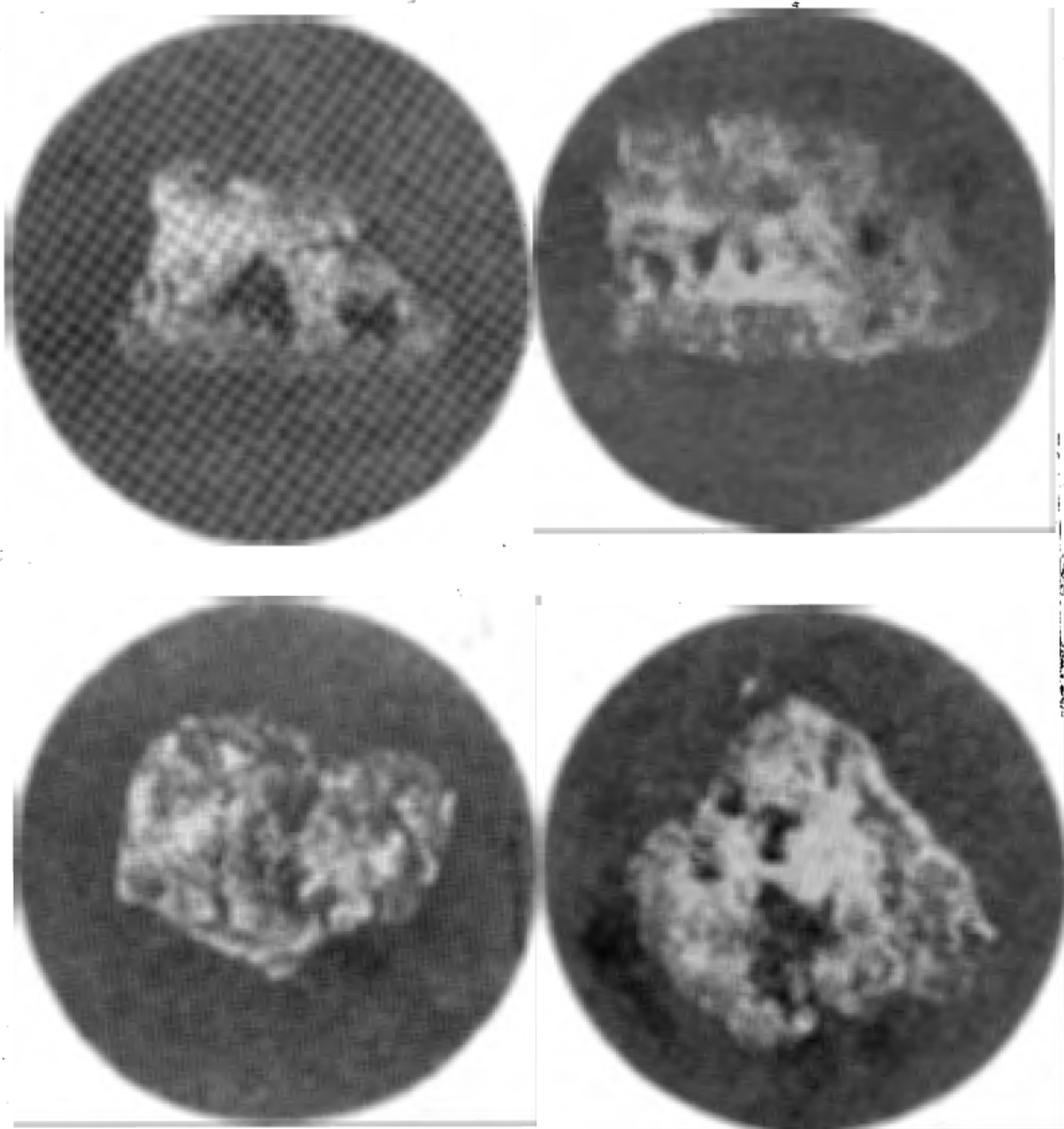
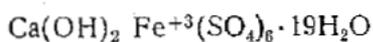


Рис. 1

Корочки кальциокониапита (тусиита) над сплошным магнетитом. Дашкесанское месторождение, Азербайджанская ССР

Термические особенности копиапита и о содержании летучих компонентов в нем

Минералы группы копиапита термически были слабо изучены и приводимая нами расшифровка термограмм копиапита из Дашкесана (рис. 2) представляет определенный интерес. Она дает возможность выяснить природу различного типа воды (особенно кристаллизационной и конституционной) и сульфатных ионов в минералах группы копиапита. С целью выяснения содержания воды в копиапите был произведен ряд исследований [24, 39, 32, 47], которыми в составе этой группы минералов установлено различное, но близкое в процентном отношении количество воды.

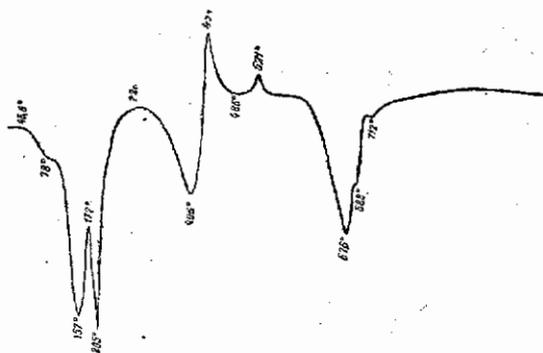


Рис. 2
Термограмма тусиита (кальциокопиапита)
из Дашкесана

Термические же данные указанных исследований, которые производились несовершенным методом (путем прерывистого нагревания и последовательного взвешивания) не позволяют выявить истинную природу и форму нахождения как воды, так и сульфатных ионов в составе минералов группы копиапита. Они по-

казывают равномерное выделение воды из состава минерала, не вызывая эндотермические и экзотермические реакции.

Наш материал из Дашкесана был изучен на пирометре Курнакова, производившем автоматическую запись кривой нагревания и обезвоживания¹.

Термограммы тусиита из Дашкесана (рис. 2) представляет собою довольно сложную кривую. На ней устанавливаются четыре основные эндотермические и две экзотермические реакции, причем одна из последних небольшая (табл. 2).

Таблица 2

Данные термической кривой тусиита из группы копиапита (Дашкесан)

Реакции	Интервал температур в °С							
	I		II		III		IV	
	интервал	максимум	интервал	максимум	интервал	максимум	интервал	максимум
Эндотермическая	46—177	157	177—230	205	320—410	406	620—700	676
Экзотермическая	410—450	434	510—550	521				

Согласно химическому составу (табл. 1) в нашем минерале и в других копиапитах содержится около 29—32% воды.

Первая эндотермическая реакция начинается примерно с 46°, протекает непрерывно с поглощением тепла, особенно при температуре около 157°, при этом выделяется от 12 до 15% воды. Следующая, очень

¹ Термограмма снята в Институте геологии АН Азербайджанской ССР. И. А. Бабаевым.

большая эндотермическая реакция происходит в интервале 177—286°. При эндотермическом максимуме 205° выделяется еще около 12% воды. Эти два максимума очень близки друг к другу и могут даже сливаться (рис. 3), по-видимому, в зависимости от химического состава копиапитов. Таким образом, основная часть воды уходит из состава минералов при указанных сравнительно низких температурах. Остальная часть кристаллической воды (около 3—4%), а также, возможно, конституционная вода $(\text{OH})_2$ —2,77% выделяются эндотермически в интервале 320—410° (максимум 406°); экзотермическая реакция при температуре 410—450° происходит резко после эндотермической, т. е. когда полностью выделяется вся гидроксильная вода, и она, по-видимому, вызвана преобладанием в составе вещества, что требует детального исследования.

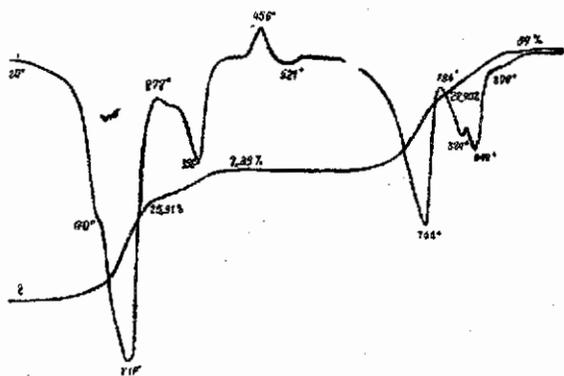


Рис. 3

Термограмма медного копиапита из Блявинского месторождения (Урал)

1—дифференциальная кривая нагревания; 2—кривая изменения веса (навеска 70 мг).

Сульфатная часть минерала, в форме сернистого и серного ангидридов (SO_3 и SO_2) уходит из минерала при более высоких температурах. Этот процесс начинается, по-видимому, при температуре 450° и газы в основном выделяются эндотермически в интервале температур 620—700° (максимум 676°). Возможно, небольшая сульфатная часть все же остается в составе, которая может выделиться при более высоких температурах.

После удаления летучих составных частей при нагревании, минералы группы копиапита преобразуются в окисную форму соединения катионов.

При просмотре нашей термограммы совместно с А. И. Цветковым, он показал нам, полученную им аналогичную термограмму для медного копиапита из Блявинского месторождения колчеданных руд Чкаловской области Урала (рис. 3), которая публикуется по его любезному разрешению. Общий характер для обоих копиапитов одинаков, различаясь лишь в некоторых температурных интервалах реакций.

Кристаллографические данные

Копиапит образует небольшие прозрачные пластинчатые кристаллики с совершенной спайностью, направление которой совпадает с плоскостью пластинчатости индивидов. Отдельные пластинки часто ромбические, оптические направления в них практически совпадают с нормальными к пластинкам и диагоналям ромба. Поэтому копиапит был отнесен к ромбической сингонии [17, 22, 40].

Г. Линк [30], впервые производивший гониометрическое измерение копиапита, отнес его к моноклинной сингонии. Его кристаллографические данные впоследствии были приведены у К. Гинце [27], а Дэна в первых изданиях своей «Системы минералогии» [19] привел мало отличающиеся величины, которые признаны В. Гольдшмидтом [25]. Р. Ша-рицер пересчитал измерения Г. Линка, стараясь упростить символы;

эти заново вычисленные величины приводятся у К. Дольтера [23]. А. Г. Бетехтин [1] в «Минералогии» приводит кристаллографические данные К. Пэлача [37], который также как и Г. Унгемах [52] отнес копиалит к триклинной сингонии. Однако кристаллографическая установка, принятая К. Пэлачем отличалась от установки Г. Унгемаха (рис. 4).

Переходы от установки Г. Унгемаха к установке К. Пэлача и обратно можно осуществить посредством следующих формул:

1. От Г. Унгемаха [52] (первичная установка) к К. Пэлачу [37]:

$$\frac{1}{2} \frac{\bar{1}}{6} 0 | 00 | \frac{\bar{1}}{6} 0$$

и обратно:

$$10\bar{1} | \bar{3}0\bar{3} | 010$$

2. От Г. Унгемаха (окончательная установка) к К. Пэлачу

$$\frac{1}{2} 0 \frac{\bar{1}}{6} \left| \frac{\bar{1}}{2} \frac{\bar{1}}{2} 0 \right| \frac{\bar{1}}{2} 0 \frac{\bar{1}}{6}$$

и обратно:

$$10\bar{1} (\bar{1}2\bar{1}) \bar{3}0\bar{3}$$

На основании гониометрического исследования К. Пэлач (1946) для копиалита вычислил следующие геометрические константы:

$$a : b : c = 0,4058 : 1 : 1 : 0,4039;$$

$$\alpha = 93^\circ 50'; \beta = 102^\circ 10' \text{ и } \gamma = 99^\circ 21,5'$$

Кристаллы копиалита (рис. 5), в основном, сильно сплюснены и слегка вытянуты, приближаясь иногда к таблитчатой форме. Изредка встречаются и призматические кристаллы (рис. 6а).

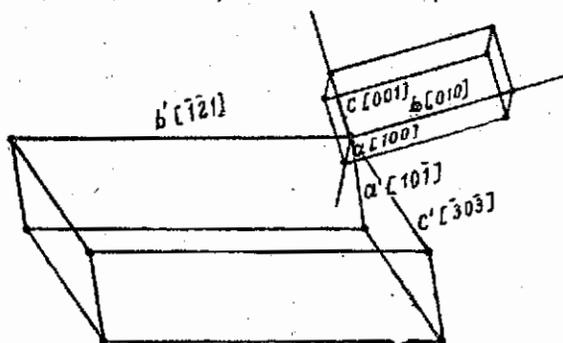


Рис. 4

Кристаллическая решетка копиалита, показывающая унгемахскую морфологическую ячейку (увеличенную в 12 раз). a (101), b (121), c (303) в отношении к элементарной ячейке, установленной К. Пэлачем, М. А. Пикоком и Л. Г. Берри (37)

Пластинчатые кристаллы заострены некоторыми зонами близко расположенных узких граней. Две из этих зон являются особенно заметно острыми. Угол между зонами в среднем равен $77^\circ 48,5'$ и они придают кристаллам псевдоромбический облик.

Наряду с нормальным копиалитом Г. Унгемах (1935) отличал отклоняющуюся от нормального типа разновидность, названную им «псевдокопиалитом». Этот материал, имеющий такой же хими-

ческий состав и оптические свойства, что и нормальный копиалит, имел также триклинную симметрию; геометрические константы его отличались от таковых нормального копиалита, в основном, в значениях межосевых углов.

Л. Г. Берри [13] заново измерил 15 кристаллов «псевдокопиалита» Г. Унгемаха и установил, что существует значительная разница только в межосевых углах. Однако полагая это изменение результатом некото-

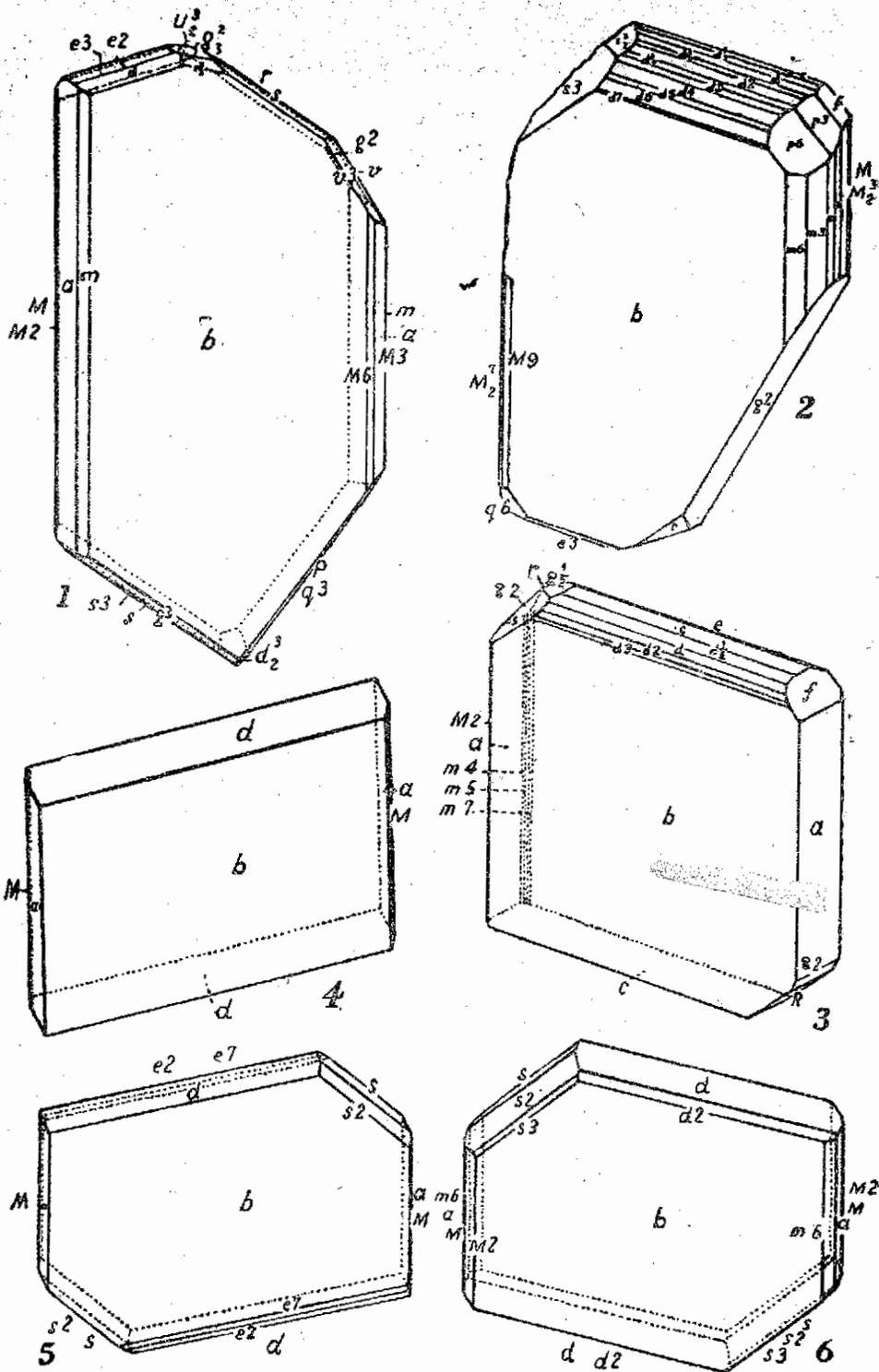


Рис. 5

Таблитчатые кристаллы копианита из Чили (в установке К. Пэлача)

1—несколько вытянутый в направлении $c(001)$ кристалл из Чукикамата с отчасти неправильным развитием заостренных зон (кристалл использован для кристаллографического, рентгенофизического и химического исследований) (К. Пэлач, М. А. Пикок и Л. Г. Берри (1946) 2—3—два заново измеренных кристалла Унгемаха из Сьерра-Горда (К. Пэлач, М. А. Пикок и Л. Г. Берри (1946); 4—5—6—кристаллы «псевдокопианита» из Тьерра-Амарилья (заново измеренные кристаллы Унгемаха); (Л. Г. Берри (1938 в) и К. Пэлач, М. А. Пикок и Л. Г. Берри (1946). Кристаллы 2—3—6 в основном развиты в отрицательном конце оси $c(001)$. Поэтому этот конец направлен вверх и кристаллы видны в направлении (010) .

рого отличия химического состава, на основании тщательных гониометрических, оптических и рентгенофизических исследований Л. Г. Берри (1938в) заключил, что свойства «псевдокопиапита» не выходят за пределы наблюдаемых или предполагаемых свойств копиапита и это название не должно применяться как определение вида или разновидности.

Двойники для копиапита не обычны. Г. Унгемахом [52] описан двойник срастания (рис. 6, б) с двойниковой осью $\{[101]\}$ и плоскостью срастания (010) по установке К. Пэлача¹. Спайность копиапита совершенная по b (010) и несовершенная по d $\{101\}$.

В табл. 3 приводится полный список зарегистрированных кристаллографических простых форм копиапита в установках К. Пэлача и Г. Унгемаха.

Гномоническая проекция простых форм табл. 3 иллюстрируется на рис. 7.

Путем рентгенофизических исследований М. А. Пикок (1946) установил, что морфологический и структурный методы ведут к одной и той же ячейке кристаллической решетки.

Кристалл, изображенный на рис. 5 под № 1, химический состав которого приведен в табл. 1 под № 12, после гониометрического измерения им был подвергнут рентгенометрическому исследованию. Используя кобальтовое излучение методом вращения был установлен период c . Вейссенбергский анализ линии нулевого слоя дал основные расстояния d (100), d (010) и угол γ . М. А. Пикоком также были установлены другие константы, показавшие следующие результаты:

$$a=7,33 \quad b=18,15 \quad c=7,27 \text{ кХ}$$

$$\alpha=93,51' \quad \beta=101^{\circ}30' \quad \gamma=99^{\circ},23'$$

Кристалл „псевдокопиапита“ (рис. 6 а) длиной в 1 мм и толщиной 0,3 мм, был рентгенометрически исследован Л. Г. Берри [37]. Методами вращения при медном излучении и Вейссенберга он определил следующие константы:

$$a = 7,26 \text{ \AA} \quad b = 18,67 \text{ \AA} \quad c = 7,45 \text{ \AA}$$

$$\alpha = 90^{\circ}58' \quad \beta = 104^{\circ}35' \quad \gamma = 98^{\circ}36'$$

Ниже приводится сравнение полученных рентгенофизическим методом констант с гониометрическими данными.

$a:b:c:$	α	β	γ	
0,4058:1:0,4039	93°50'	102°10'	99°21,5'	(гониометрическое по К. Пэлачу)
0,4037:0,4005	93°51'	101°30'	99°23'	(рентгеновское по М. А. Пикоку)
0,4047:1:0,4005	91°22'	102°22'	98°50'	(гониометрическое для „псевдокопиапита“ по Л. Г. Берри)
0,3889:1:0,3691	90°58'	104°35'	98°36'	(рентгеновское для „псевдокопиапита“ по Л. Г. Берри)

До сего времени тонкая кристаллическая структура копиапита не изучена [50].

В рентгеновской лаборатории Института геологии Академии наук Азербайджанской ССР Д. Г. Алиевой была снята дебаграмма найденного нами нового минерала из группы копиапита (табл. 4.).

¹ В дальнейшем описании все данные (если нет специальных оговорок) будут приведены в установке К. Пэлача.

СПИСОК

зарегистрированных кристаллографических простых форм коппаита

По Пэлачу	По Унгемаху	По Пэлачу	По Унгемаху
c (001)** ×	$\delta 1$ (11 $\bar{3}$) 28	$q \frac{5}{4}$ (504)* —	$c \frac{1}{6}$ (331) 2
b (010)** ×	$q 1$ (010) 2	$q \frac{7}{5}$ (705) —	$c \frac{1}{4}$ (221) 1
a (100)** ×	$\gamma 1$ (1 $\bar{1}3$) 30	$q 2$ (201)** ×	$c 1$ (1 $\bar{1}1$) 21
$m 3$ (180) —	$\gamma 17$ (1.17.3) 1	$q 5$ (501)* —	$c 1$ (1 $\bar{1}2$) 9
$m 7$ (170) ×	(1.15.3) —	R (135) —	λ (122) 3
$m 6$ (160) ×	$\gamma 13$ (1.13.3) 2	h (134) —	$f \frac{5}{2}$ (115) 1
$m 5$ (150) ×	$\gamma 11$ (1.11.3) 2	$t \frac{1}{2}$ (112) ×	(313) —
$m 4$ (140) ×	$\gamma 9$ (193) 2	$t \frac{3}{4}$ (234) —	$o 1$ (101) 2
$m \frac{7}{2}$ (270) —	$\gamma 8$ (183) 1	$t \frac{2}{3}$ (132)* ×	$f 1$ (111) 8
$m 3$ (130)* ×	$\gamma 7$ (173) 6	$t 3$ (162)* —	$f 3$ (131) 5
$m \frac{5}{2}$ (250) —	$\gamma 6$ (163) 1	$t \frac{9}{2}$ (192) —	$f 6$ (151) 2
$m 2$ (120)* ×	$\gamma 5$ (153) 6	$t \frac{21}{4}$ (2.21.4) —	$f 6$ (161) 1
$m \frac{3}{2}$ (230)* —	$\gamma 4$ (143) 4	$u \frac{3}{4}$ (234)* —	$d 2$ (121) 4
$m \frac{4}{3}$ (340) —	$\gamma \frac{11}{3}$ (3.11.9) 2	$u \frac{3}{2}$ (132)** —	$d 2$ (131) 10
m (110)** ×	$\gamma 2$ (133) 14	$u 3$ (162)* —	$d 5$ (151) 5
$m \frac{2}{3}$ (320) —	$\gamma \frac{7}{3}$ (379) 3	$u \frac{9}{2}$ (192)* —	$d 7$ (171) 8
$m \frac{1}{2}$ (210)* —	$\gamma 2$ (123) 9	$u 6$ (1, 12.2) —	$d 9$ (1191) 3
$m \frac{1}{3}$ (310) —	$\gamma \frac{5}{3}$ (359) 3	$u \frac{15}{2}$ (1.15.2) —	$d 11$ (1, 11.1) 3

По Пэлачу	По Унгемаху	По Пэлачу	По Унгемаху
$M \frac{1}{4} (\bar{4}10) -$	$\gamma \frac{1}{2} (\bar{2}16) \quad 3$	$p \frac{1}{2} (212) \times$	(016) —
$M \frac{1}{3} (\bar{3}1\bar{5})^* -$	$\gamma \frac{1}{3} (\bar{3}19) \quad 6$	$p (111) \times$	(013) —
$M \frac{1}{2} (\bar{2}10)^{**} \times$	$\alpha 3 (\bar{1}03) \quad 10$	$p 2 (121) -$	(023) —
$M \frac{2}{3} (\bar{3}20)^* -$	$\beta \frac{1}{3} (\bar{3}19) \quad 5$	$p 3 (131)^{**} \times$	$i 1 (011) \quad 10$
$M (110)^{**} \times$	($\bar{1}13$) 24	$p \frac{9}{2} (298) -$	$i \frac{3}{2} (032) \quad 1$
$M \frac{4}{3} (\bar{3}40) -$	$\beta \frac{5}{3} (\bar{3}59) \quad 1$	$p 6 (161)^* \times$	$i 2 (021) \quad 7$
$M \frac{3}{2} (\bar{2}30)^* \times$	$\beta 2 (\bar{1}23) \quad 5$	$p \frac{15}{22} (2.15.2) -$	$i \frac{5}{2} (052) \quad 2$
$M 2 (\bar{1}02)^{**} \times$	$\beta 3 (\bar{1}33) \quad 10$	$p 9 (191) -$	$i 3 (031) \quad 3$
$M \frac{5}{2} (\bar{2}50) \times$	$\beta 4 (\bar{1}43) \quad 2$	$p 12 (1.12.1) -$	$i 4 (041) \quad 2$
$M 3 (\bar{1}30)^{**}$	$\beta 5 (\bar{1}53) \quad 10$	$p 15 (1.15.1) -$	$i 5 (051) \quad 2$
$M \frac{7}{2} (\bar{2}70) \times$	(163) —	$p 8 (1.181,1) -$	$i 6 (061) \quad 2$
$M 4 (\bar{1}40)^* -$	$\beta 7 (\bar{1}73) \quad 7$	$q (1\bar{1}1) -$	$e \frac{1}{3} (0\bar{1}3) \quad 1$
$M \frac{9}{2} (\bar{2}90) -$	$\beta 8 (\bar{1}83) \quad 1$	$q \frac{2}{2} (\bar{2}32) -$	$e \frac{1}{2} (0\bar{1}2) \quad 1$
$M 5 (\bar{1}50)^* -$	$\beta 9 (\bar{1}93) \quad 8$	$q 3 (\bar{1}31)^* \times$	$e 1 (0\bar{1}1) \quad 9$
$M 6 (\bar{1}60) \times$	$\beta 11 (\bar{1}.\bar{1}1.3) \quad 2$	$q 6 (\bar{1}61)^* \times$	$e 2 (\bar{1}21) \quad 7$
$M 7 (\bar{1}70) \times$	$\beta 12 (\bar{1}.\bar{1}3.3) \quad 2$	$q \frac{15}{2} (2.15.2) -$	$e \frac{5}{2} (0\bar{5}2) \quad 1$
$M 8 (\bar{1}80) -$	$\beta 15 (\bar{1}.\bar{1}5.3) \quad 3$	$q 9 (\bar{1}91) -$	$e 3 (\bar{1}31) \quad 2$
$M 9 (\bar{1}90) -$	$\beta 17 (\bar{3}.\bar{1}7.3) \quad 1$	$q 12 (1.\bar{1}2.1)^* -$	$e 4 (0\bar{4}1) \quad 4$
$d \frac{1}{3} (013)^* -$	$\delta \frac{1}{3} (\bar{3}19) \quad 6$	$q 15 (1.\bar{1}5.1) -$	$e 5 (0\bar{5}1) \quad 2$

По Пэлачу	По Унгемаху	По Пэлачу	По Унгемаху
$d \frac{1}{2} (012)^{**} \times$	$a3 (103) 10$	$r \frac{1}{2} (\overline{212})^{**} -$	$\frac{3}{2}g (2\overline{30}) 19$
$d \frac{2}{3} (023) -$	$a \frac{1}{3} (319) 1$	$r (1\overline{11})^{**} \times$	$2g (\overline{120}) 17$
$d (0\overline{11})^{**} \times$	$a1 (113) 19$	$r2 (\overline{121})^{**} -$	$3g (\overline{130}) 11$
$d \frac{3}{2} (032) \times$	$a2 (123) 1$	$r \frac{5}{2} (\overline{252}) -$	$\frac{7}{2}g (\overline{270}) 1$
$d2 (021)^{**} \times$	$a3 (133) 13$	$r3 (\overline{131})^* -$	$4g (\overline{140}) 7$
$d \frac{5}{2} (052) \times$	$a4 (144) 3$	$r4 (\overline{141})^* -$	$5g (\overline{150}) 7$
$d3 (031)^{**} \times$	$a5 (153) 11$	$r5 (\overline{151}) -$	$6g (\overline{160}) 3$
$d \frac{7}{2} (072) -$	$a6 (163) 1$	$r6 (\overline{261}) -$	$7g (\overline{170}) 1$
$d4 (041)^* \times$	$a7 (173) 8$	$s \frac{1}{2} (\overline{212}) -$	$2h (\overline{210}) 3$
$d5 (051)^* \times$	$a8 (193) 4$	$s (\overline{111})^{**} \times$	$h1 (100) 20$
$d6 (061) \times$	$a11 (1.11.3) 2$	$s \frac{3}{2} (\overline{232})^* -$	$h2 (210) 5$
$d7 (071)^* \times$	$a13 (1.13.3) 4$	$s2 (\overline{121})^{**} \times$	$t (110) 11$
$d8 (081) -$	$a15 (1.15.3) 1$	$s3 (\overline{131})^* \times$	$g2 (120) 9$
$d9 (091) -$	$a17 (1.17.3) 1$	$s4 (\overline{141})^* -$	$g3 (130) 6$
$d10 (0.10.1) -$	$a19 (1.19.3) 2$	$s5 (\overline{151})^* -$	$g4 (140) 4$
$e \frac{1}{3} (0\overline{13})^* -$	$\delta \frac{5}{3} (3\overline{59}) 7$	$s6 (\overline{161}) -$	$g5 (150) 1$
$e \frac{1}{2} (0\overline{12})^* -$	$\delta 2 (\overline{123}) 7$	$w \frac{3}{2} (\overline{432})^* -$	$c2 (\overline{121}) 4$
$e \frac{1}{3} (023)^* -$	$\delta \frac{7}{3} (3\overline{79}) 4$	$w3 (\overline{231}) -$	$c3 (\overline{131}) 10$
$e (\overline{011})^{**} \times$	$\delta 3 (\overline{133}) 15$	$w \frac{9}{2} (\overline{492}) -$	$c4 (\overline{141}) 2$
$e \frac{3}{2} (0\overline{32})^* -$	$\delta 4 (\overline{143}) 5$	$w6 (\overline{261})^{**} -$	$c5 (\overline{151}) 11$
$e2 (0\overline{21})^* \times$	$\delta 5 (\overline{153}) 8$	$w \frac{15}{2} (\overline{4,15.2}) -$	$c6 (\overline{161}) 1$

По Пэлачу	По Унгемаху	По Пэлачу	По Унгемаху
$e \frac{5}{2} (\overline{052})$ —	86 ($\overline{163}$) 3	w9 ($\overline{291}$)* —	c7 ($\overline{171}$) 6
$e3 (\overline{031})^*$ ×	87 ($\overline{173}$) 4	w12 ($\overline{2.12.1}$) —	e9 ($\overline{192}$) 3
$e \frac{7}{2} (\overline{072})$ —	88 ($\overline{183}$) 2	w15 ($\overline{2.15.1}$) —	c11 ($\overline{1.11.1}$) 1
$e4 (\overline{041})^*$ —	89 ($\overline{183}$) 5	w18 ($\overline{2.18.1}$) —	c13 ($\overline{1.12.1}$) 2
$e5 (\overline{051})^*$ —	811 ($\overline{1.11.3}$) 4	v ($\overline{211}$) ×	($\overline{313}$) —
$e6 (\overline{061})$ —	813 ($\overline{1.13.3}$) 2	v ($\overline{432}$)* —	a1 ($\overline{161}$)
$e7 (\overline{071})$ —	815 ($\overline{1.15.3}$) 3	$v \frac{5}{2} (\overline{452})$ ×	($\overline{323}$)
$e8 (\overline{081})$ —	817 ($\overline{1.17.3}$) 1	v' ($\overline{231}$)** —	b1 ($\overline{111}$) 9
$e9 (\overline{091})$ —	819 ($\overline{1.19.3}$) 1	$v \frac{7}{2} (\overline{472})$ ×	($\overline{343}$) —
$f \frac{1}{7} (\overline{107})$ —	a2 ($\overline{114}$) 2	v6 ($\overline{261}$)* —	b3 ($\overline{131}$) 4
$f \frac{1}{4} (\overline{104})^*$ —	$d \frac{5}{2} (\overline{115})$ 7	v9 ($\overline{291}$)* —	b5 ($\overline{151}$) 4
$f \frac{2}{5} (\overline{205})$ —	$d \frac{7}{2} (\overline{117})$ 2	v12 ($\overline{2.12.1}$) —	b7 ($\overline{171}$) 1
$f (\overline{101})^{**}$ ×	p (001) 17	v15 ($\overline{2.15.1}$) —	b9 ($\overline{191}$) 1
$f4 (\overline{401})^*$ —	$c \frac{5}{2} (\overline{115})$ 4	x3 ($\overline{431}$) —	($\overline{135}$)
$g \frac{1}{8} (\overline{108})$ —	$d \frac{7}{6} (\overline{337})$ 3	y3 ($\overline{431}$) —	$\beta \frac{9}{1} (\overline{115})$ 2
$g \frac{1}{5} (\overline{105})$ —	d1 ($\overline{112}$) 9	y6 ($\overline{461}$) —	η 3 ($\overline{135}$) 1
$g \frac{1}{2} (\overline{102})^{**}$ ×	d1 ($\overline{111}$) 18	z9 ($\overline{491}$) —	η 5 ($\overline{105}$) 1
$g \frac{4}{5} (\overline{405})$ —	$d \frac{1}{6} (\overline{331})$ 1	z9 ($\overline{531}$) —	a2 ($\overline{102}$) 1
$g (\overline{101})^{**}$ ×	m ($\overline{110}$)	z3 ($\overline{591}$) —	z ($\overline{122}$) 1

Примечание:

*—обычные формы;

**—наиболее обычные формы

Все остальные редкие формы.

Перед формами Г. Унгемаха отмечено количество наблюдений. Следует также отметить, что индексы форм Пэлача, получаемые при переходе от установки Г. Унгемаха даны с обратным знаком.

Рентгенометрические данные нового минерала тусинита из группы копиапита

Fe—антикатод; $D=57,3$; $d=0,5$ мм 30 кV; 10 mA; $h=20,00$

№ по порядку	(hkl) ¹	J	$d_{\alpha/n}$	$d_{\beta/n}$	№ по порядку	(hkl)	J	$d_{\alpha/n}$	$d_{\beta/n}$
1		5	6,059	5,492	23	880; 088	3	1,560	1,414
2		5	5,162	4,677	24		3	1,526	1,383
3	0,33; 330	3	(4,274)	3,877	25	404; 0,12,0	4	1,477	1,389
4		5	3,843	3,485	26	099; 990; 005	6	(1,438)	1,304
5	200	9	3,458	3,135	27	500; 0,13,0	2	1,361	1,234
6		5	3,292	2,984	28		2	(1,342)	1,216
7	440; 0,44	10	3,108	2,794	29		9	1,304	1,182
8		10	3,027	2,743	30	10,10,0; 0,10,10	9	1,267	1,148
9		10	2,809	2,546	31		9	1,244	1,127
10		2	2,732	2,476	32		6	1,213	1,099
11	0,70; 0,55; 550	3	2,563	2,322	33	006	6	1,193	1,081
12	300	5	2,346	2,126	34	505	6	1,166	1,057
13		2	(2,188)	1,984	35	600	8	1,156	1,048
14	0,66; 660	7	2,148	1,947	36	11,11,0; 0,11,11	3	1,137	1,030
15		8	2,043	1,852	37	0,14,0	3	1,127	1,021
16	303; 090	8	1,986	1,800	38		5	1,087	0,985
17		8	1,914	1,735	39		5	1,078	0,977
18		10	1,860	1,686	40	0,12,12; 12,12,0	7	1,068	0,968
19	077; 770	4	1,838	1,666	41		8	1,043	0,945
20	400; 010; 004	4	1,741	1,578					
21		8	1,696	1,537					
22		6	1,671	1,515					

¹ Индексирование этих линий на основании геометрических констант копиапита, приводимых К. Пэлачем, любезно произведено Х. Мамедовым. Исследовались только плоскости типа (h00), (0k0), (00l), (hk0), (0kk) и (h0h).

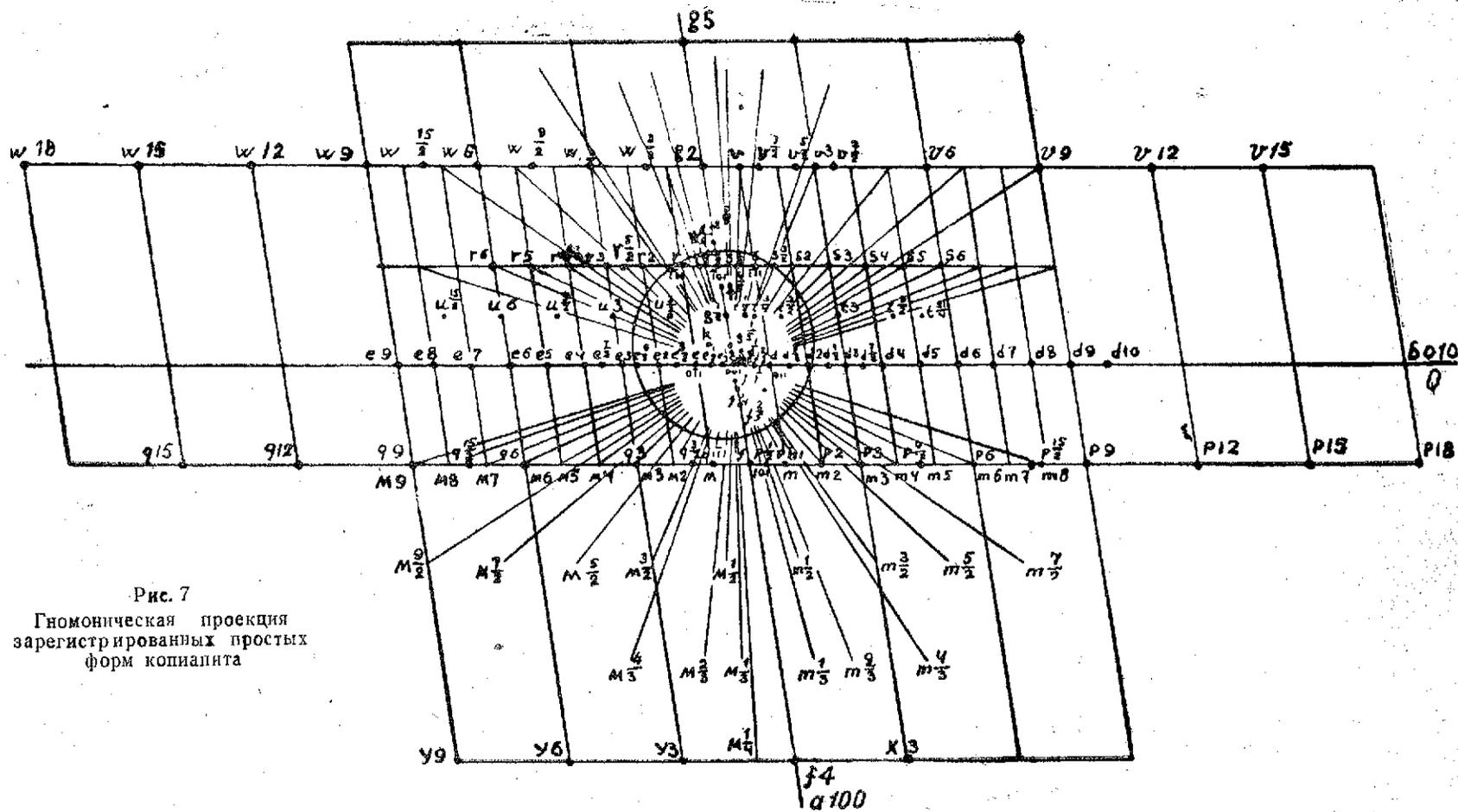


Рис. 7
Гномоническая проекция
зарегистрированных простых
форм кyanита

Оптические данные копиапита

Таблица 5

Минеральные виды	$nZ=Ng$	$nY=Nm$	$nX=Np$	$2V$	Авторы и номера анализов в табл. 4
Феррикопиапит	1,597	1,546	1,531	52°	Искусственный. Э. Позняк и Г. Э. Мервин № 6 М. J. Mc. Caughey, № 3 Г. Унгемах, № 7 Э. Манассе, № 11 Э. С. Ларсен, № 13
	1,592	1,544	1,525	61°	
	1,599	1,548	1,530		
	1,573	1,529	1,506		
	1,592	1,550	1,530		
Алюминокопиапит	1,575	1,531	1,507	74°43'	Э. Манассе, № 18 Р. Рост, № 19 М. К. Бенди, № 16 Э. С. Ларсен, № 45
	1,580	1,53—1,54	1,527		
		1,540			
	1,590	1,540	1,525		
Магнезиокопиапит	1,570	1,53	—	—	Дж. Ф. Шайрер и С. С. Лаусон, № 31 Т. Л. Волкер, № 30 Р. Рост, № 41 М. К. Бенди, № 42 Э. С. Ларсен, № 37
	1,578	1,538	—	—	
	1,583	1,543	1,511	—	
		1,530	—	—	
	1,575	1,535	1,510	—	
Феррокопиапит	1,577	1,532	1,509	72°55'	Э. Манассе, № 39 М. А. Пикок, № 48 Г. Унгемах Э. С. Ларсен, № 51
Купрокопиапит	1,620	1,575	1,558	63°	
«Псевдокопиапит»	1,578	1,531	1,510	56°	
«Ноксвилит»	1,576	1,529	1,507	67°	

изменению компонентов двухвалентных оснований, так и содержания в них вод.

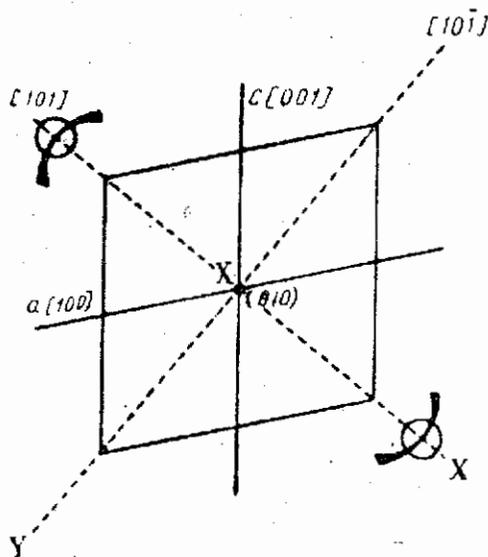


Рис. 8

Оптическая ориентировка копиапита, показывающая взаимоотношение основных оптических направлений X, Y, с основными кристаллографическими направлениями в плоскости спайности $b(010)$; $Z = Ng$; $Y = Nm$; $X = Np$

Феррикопиатит и алюинокопиапит оптически не различимы друг от друга, но их показатели намного выше, чем у копиапита (феррокопиапита), магнезиокопиапита и «псевдокопиапита», которые оптически мало отличимы.

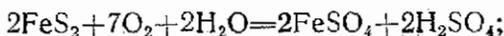
Купрокопиапит имеет наибольшие показатели преломления. Это может частично происходить благодаря необычно меньшему содержанию воды, выявленному анализами.

Об условиях образования копиапита

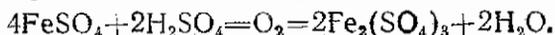
Кальциокопиапит в небольшом количестве (рис. 1) был найден нами в Дашкесане над сплошным магнетитом, содержащем пирит и некоторое количество кальцита, причем последний находился в некоторой отдаленности от места образования кальциокопиапита, сравни-

тельно тесно ассоциирующегося с бурым железняком. В некоторой отдаленности на поверхности этой же глыбы было найдено большое количество халькантита, образующего корочки малахита в виде незначительной пленки¹.

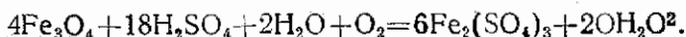
Как и другие гипергенные сульфаты Дашкесанского железорудного месторождения—халькантит, пизанит, мелантерит, гипс, так и кальциевый копианит образовались в результате разрушения сульфидов, главным образом, пирита. Пирит был окислен в водно-воздушных условиях, согласно следующей реакции:



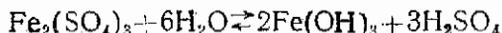
образующийся при этом закисный сульфат переходит в окисный:



Так как все реакции протекают непосредственно на поверхности магнетита, можно предположить, что



Таким образом, всевозможные реакции приводят в итоге к образованию водного раствора, содержащего $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ и H_2SO_4 ; образующийся окисный железный сульфат в слабо кислом растворе гидролизуется:



Рассмотрим эту обратимую реакцию более подробно.

Для скоростей (v_1 и v_2) обеих взаимопротивоположных реакций, отвечающих данной схеме, можно составить следующие выражения:

$$v_1 = k_1 [\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3] \cdot [\text{H}_2\text{O}]^6;$$

$$v_2 = k_2 [\text{Fe}(\text{OH})_3]^2 [\text{H}_2\text{SO}_4]^3.$$

Ясно, что, если $v_1 > v_2$, то за единицу времени молекул гидроокиси железа и серной кислоты будет образовываться больше, чем молекул сульфата окиси железа и воды. И наоборот, в закрытой системе, по мере дальнейшего образования $\text{Fe}(\text{OH})_3$ и H_2SO_4 , увеличивается v_2 , а v_1 уменьшается; наконец, наступает такой момент, когда обе скорости становятся равными—устанавливается динамическое равновесие, характеризующееся константой (k) равновесия:

$$\frac{[\text{Fe}(\text{OH})_3]^2 \cdot [\text{H}_2\text{SO}_4]^3}{[\text{Fe}_2(\text{SO}_4)] [\text{H}_2\text{O}]^6} = k.$$

Численное значение этой константы характеризует положение равновесия при данной температуре и не меняется с изменением концентраций реагирующих веществ. Выражение для константы равновесия даже в качественной форме, дает ценное указание по вопросу о взаимном влиянии концентраций отдельных веществ равновесной системы. Допустим, что в равновесную систему $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 6\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4$ вводится избыток воды, что сильно увеличивает знаменатель приведенного выше выражения константы равновесия

¹ Такая обособленность копианита в отношении к другим гипергенным водным сульфатам отмечалась и в ряде других месторождений.

² Возможна следующая реакция, могущая привести к образованию самородной серы $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{FeS}_2 = 3\text{FeSO}_4 + 2\text{S}$; однако в наших условиях сера не могла бы осадиться (как она отсутствует в данной ассоциации), ибо в поверхностных условиях $2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{SO}_4$.

Ясно, что постоянство значения последней может быть сохранено, при этом только в том случае, если соответственно уменьшится концентрация $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ и увеличится концентрация $\text{Fe}(\text{OH})_3$ и H_2SO_4 . И, наоборот, если вводить в систему избыток H_2SO_4 , то уменьшится концентрация $\text{Fe}(\text{OH})_3$ и увеличится концентрация $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ и H_2O .

Таким образом, ассоциирующаяся с тусиитом гидроокись железа осадилась из слабо кислых растворов. Вообще гидроокись железа, возникающая при этом, представляет гидрозоль, легко коагулирующийся разнообразными электролитами и т. д. Выпавший гель, дегидратируясь в той или иной мере образует моногидрат с различным количеством растворенной и адсорбированной воды [8].

Во втором же случае, т. е. в случае определенной кислотности растворов, железо должно оставаться преимущественно в растворе или частично осадиться в виде тех или иных основных сульфатов.

Р. Шарицер [47, 48] на основании экспериментов показал, что при присутствии в растворе только окисного железа, первым минералом выпадает феррикопиапит; причем для этого необходимый минимум кислотности не существует. Приписывая копияпиту формулу $(\text{HO})\text{Fe}_4(\text{SO}_4)_5 \cdot 17\text{H}_2\text{O}$ он выделял также несколько отличное соединение $(\text{HO})\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_4 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$, назвав их соответственно α и β копияпитами. Э. Позняк и Г. Э. Мервин [40] доказали ошибочность его взглядов¹.

Чтобы яснее представить соотношение устойчивости гидроокиси железа и сульфатов в растворах различной кислотности, обратимся к трехкомпонентной системе $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{SO}_3 - \text{H}_2\text{O}$, изученной Э. Позняком и Г. Э. Мервином [40.] Очевидно, эту систему можно представить в виде $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 - \text{H}_2\text{SO}_4 - \text{Fe}(\text{OH})_3$.

Система $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{SO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ исследована Э. Позняком и Г. Э. Мервином при температурах 50° , 75° , 110° , 140° и 200° и на основании полученных данных ими построена его геометрическая модель (рис. 9), представляющая собой треугольную призму, по вершинам основания которой расположены компоненты, а по ребру — температура системы. Она наглядно показывает области стабильности отдельных

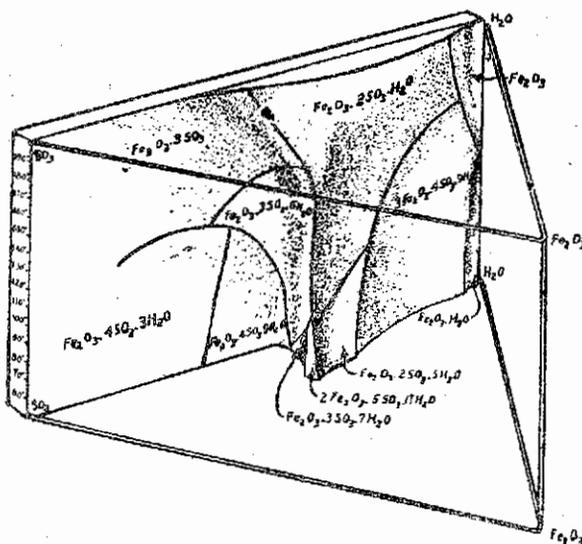


Рис. 9

Геометрическая модель системы в пределах температур от 50° до 200° (по Позняку и Мервину)

фаз и местоположения инвариантных точек. Как видно из модели, примыкая к областям основных солей в соотношении $\text{Fe}_2\text{O}_3 : 2\text{SO}_3$ в направлении повышения содержания трехоксида серы при низких температурах расположена область стабильности феррикопиапита — третьего типа

¹ Как показали Позняк и Мервин, проанализированный ими материал представлял собой смесь равновесных фаз, т. е. индивиды феррикопиапита не были исследованы микроскопически и содержали маточный раствор.

основной соли системы¹, формула которой была авторами установлена как $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SO}_3 \cdot 17\text{H}_2\text{O}$ (табл. 1, анализ № 6). Копиапит стабилен приблизительно до 90° , где может сосуществовать с основной солью $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и нормальной солью $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. При температуре, близкой к 80° он может сосуществовать с основными солями $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, с дальнейшим увеличением содержания трехокиси серы при температуре ниже 75° в растворе появляется нормальная соль $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. В самой же этой точке могут сосуществовать одновременно три твердые фазы—нормальные соли: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ и основная соль (феррикопиапит). Выше этой температуры $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ уступает свое место в равновесии нормальной соли $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Однако, к нашим условиям более близка 50 изотерма этой системы, приведенная на рис. 10.

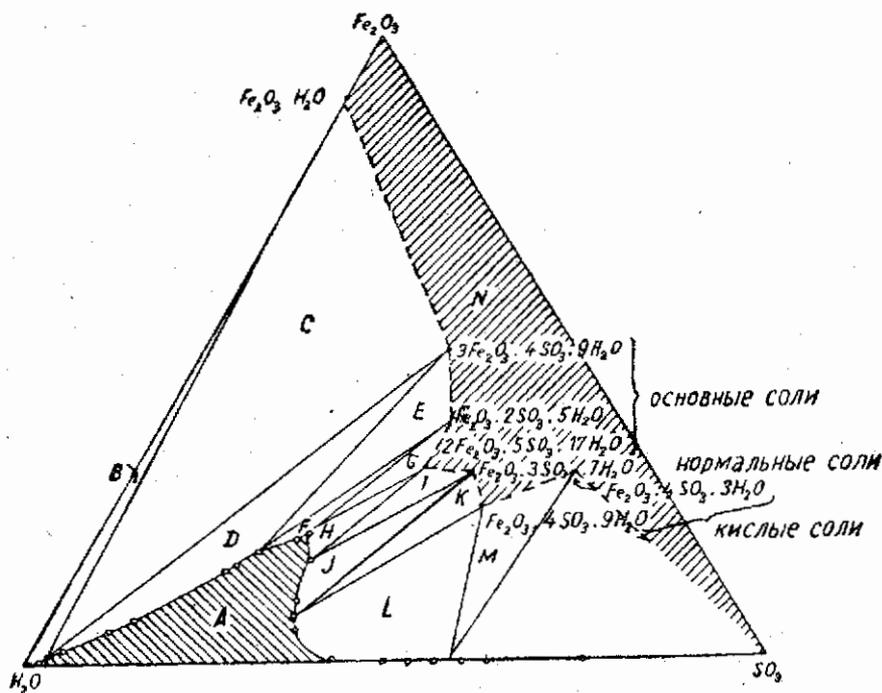


Рис. 10

50-ая изотерма системы по Позняку и Мервину

А—область жидких фаз; Н—область твердых фаз; вся остальная площадь—область твердых и жидких фаз

Система состава, отвечающего фигуративной точке, взятой внутри треугольников G и J , при установлении равновесия, дает смесь двух твердых фаз, состав которых можно установить двумя верхними вершинами треугольников и жидкую фазу с составом, отвечающим третьей вершине треугольника, лежащей на кривой насыщения. Система же соответствующая какой-нибудь фигуративной точке внутри треугольника H , дает твердую фазу с составом $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SO}_3 \cdot 17\text{H}_2\text{O}$ (т. е. копияпит) и жидкую фазу. Состав жидкой фазы можно установить при помощи точки пересечения линии, соединяющей вершину тре-

¹ Принадлежность полученной твердой фазы к феррикопияпиту была установлена детальным микроскопическим исследованием и на основании общих морфологических данных.

угольника, где расположено компонент Fe_2O_3 и точку, соответствующую полному составу системы, с кривой насыщения. По рис. 7 легко определить условия существования копиапита.

Таким же образом, вероятно, наличием в системе также CaO обусловлено образование кальциокопиапита из Дашкесанского месторождения. Источником кальция в данном случае следует принять имеющийся поблизости кальцит. Как известно, гипс, образующийся при воздействии от полученного в результате окисления пирита серной кислоты на кальцит, хорошо растворяется и переносится даже в слабо кислотных растворах.

Следует также отметить, что минералы группы копиапита, как и другие водные соли на воздухе устойчивы лишь при условии, если давление водяных паров (P_{H_2O}) в воздухе будет превышать давление пара самих минералов. Поэтому, анализ нашего кальциокопиапита, а также и многих других минералов группы, представленных в табл. 1, соответствует частично дегидратизированному материалу.

Ясно, что как и другие водорастворимые минералы зоны окисления, минералы группы копиапита не могут являться устойчивыми и очень легко разрушаются.

По М. Бенди [11] купрокопиаптит в ассоциации с паробутлеритом, халькантитом и ярозитом (Чили) был образован взаимодействием копиапита с раствором сульфатных солей, содержащих медь.

Интерес представляет образование этих минералов также в зоне пожара, в штатах рудника Юнайтед-Верде в Джероме, где руды содержат много пирита. Минерал из группы копиапита, являющийся продуктом изменения вольфрамита, здесь был обнаружен К. Андерсеном [10] в ассоциации с кокимбитом. Впоследствии К. Лаусен [29] также обнаружил самостоятельные выделения этого минерала, отложенного в трещинах пород. Он был обнаружен в виде корок (толщиной 1 см), покрывающих гематит и лимонит (табл. 1, анализ № 28,) а также в виде агрегата мельчайших тонких кристаллических пластинок, занимающих впадины в зернистом пирите в ассоциации с ремеритом (лудербакитом $Fe^{+2} Fe_2^{+3} (SO_4)_4 \cdot 14H_2O$). Он был также отмечен в минерале ланзените (роджерсите) $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 6H_2O$ в виде небольших округлых зерен и в бутлерите $Fe(SO_4)(OH) \cdot 2H_2O$ в виде тонких острых кристаллов.

Все указанные сульфаты (а также алуноген, кокимбит, джуилзит, рансомит, вольтаит, джеромит) по мнению К. Лаусена образовались, когда была применена вода для тушения пожара и шахта была затоплена. По его мнению, выходящие газы содержали большое количество паров воды, взаимодействующей с сульфидами железа и меди и доводили эти ингредиенты до высоких концентраций, где отлагались вышеуказанные водные сульфаты. Полагается, что Fe^{+2} , Fe^{+3} , Al, Cu, Na, K не могли бы отлагаться из растворов, а наоборот, переносились газами и отлагались непосредственно из водяных паров, содержащих также SO_3 .

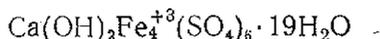
Отмечено наличие минералов группы копиапита также близ горячих источников Сульфур Банк и вблизи источников Стимбот-Спрингс¹.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Обнаруженный нами гипергенный минерал из группы копиапита—кальциокопиаптит (тусинит) в скарново-железорудной залежи Дашкесана оказался новым видом, в котором двухвалентное основание X поч-

¹ Перечень многих месторождений, где были отмечены те или другие виды минералов группы копиапита, приводятся в „Системе минералогии“ Дж. Дэна и др. [3].

ти целиком состоит из кальция, в то время как в других минералах этой группы двухвалентные элементы представлены магнием, железом и другими, а иногда с некоторой примесью кальция. Химический анализ нового минерала тусиита приведен в табл. 1 под № 46, а вычисленная из него формула выражается как водный основной сульфат трехвалентного железа и кальция:



2. В связи с исследованием этого нового минерала авторы собрали почти всю иностранную и русскую литературу по копиапиту, а также существующие химические анализы его (табл. 1). Обзор литературы показал, что общая формула копиапита должна быть написана в виде



выражающем одновременно и содержание элементарной ячейки, где X есть один кислородный эквивалент одного или более из следующих элементов:

Na, K, Cu, Zn, Fe⁺², Mn, Mg, Ca, Al и Fe⁺³, а R—Fe⁺³ или Al.

3. Отсутствует единое мнение в присвоении названия отдельным минеральным видам и разновидностям группы копиапита. Придерживаясь установленных требований согласно минералогической номенклатуре, разновидности минералов группы копиапита следовало бы называть по присутствию в основной части двухвалентных элементов. При этом желательнее сохранить для минералов группы копиапита те названия, которые приводятся Л. Г. Берри (1947):

феррикопиапит	—	у которого X компонент формулы в основном трехвалентное железо,
алюмокопиапит	—	где X в основном—Al
феррокопиапит	—	" " " " Fe ⁺²
магнезиокопиапит	—	" " " " Mg
купрокопиапит	—	" " " " Cu

добавив сюда наш новый минеральный вид копиапита как кальциокопиапит.

4. Исследование термических свойств копиапита производилось несовершенными методами, поэтому приведенные нами кривые нагревания и обезвоживания должны представить определенный интерес. Они характерны для всех минералов группы копиапита.

Устанавливаются четыре эндотермические и две экзотермические реакции (табл. 2). Причем нами расшифрована природа молекулярной (H₂O) и гидроксильной (OH) воды, а также сульфатных ионов в копиапите. Расшифровка и содержание их (%) устанавливаются температурными интервалами, которым соответствует определенное количество воды и сульфатных ионов.

5. Копиапит был гониометрически исследован рядом исследователей, которыми зарегистрированы 146 простых форм (табл. 3, рис. 4, 5, 6) и вычислена его элементарная ячейка и константы.

6. Кристаллическая структура копиапита не изучена. Рентгенометрические данные нашего кальциокопиапита—тусиита (табл. 4) должны представлять определенный интерес, в особенности вычисления межплоскостных расстояний (hkl)

7. Коэффициенты преломлений копиапитов (табл. 5) изменяются преимущественно в зависимости от их химического состава в пределах: N_p—1,507—1,531, N_m—1,529—1,575 и N_g—1,570—1,620.

8. Минералы группы копиапита образуются в гипергенных условиях в самой различной физико-химической обстановке: при химическом выветривании железосодержащих минералов, в особенности сульфидов и сульфатов, при подземных пожарах в колчеданных месторождениях, из горячих минеральных источников и, наконец, они получены искусственно. Кальцийсодержащие разновидности, в частности тусинит, образовались в железорудном месторождении при разложении железистых сульфидов или воздействием серноокислых растворов на продукты выветривания магнетита и гематита. Эти процессы протекали в обстановке недостатка карбоната кальция. В обратном случае образовался бы гипс. Химические реакции, при которых идет формирование минералов группы копиалита, в том числе нашего нового минерала — тусинита, даются в разделе «Об условиях образования копиапита».

ЛИТЕРАТУРА

1. Бетехтин А. Г. Минералогия. Госгеолтехиздат, 1950.
2. Григорьев Д. П. Правила составления названий минералов по их химическому составу. ЗВМО, 76, сер. II, вып. 3, 1947.
3. Дэна Дж. и др. Система минералогии, т. II, полутом 1. Издательство иностран. литературы, М., 1953.
4. Дьяченко В. И. Копиапит из окрестностей г. Микоян-Шахара (Северный Кавказ). Сб: студент. работ Днепропетровского ун-та, т. XXI, 1950.
5. Кашкай М.-А. Дашкесанское и другие железорудные месторождения Азербайджана.
6. Лазаренко Е. К. Нерудные минералы в колчеданных залежах Среднего Урала. Уч. зап. Львовского гос. ун-та, сер. геологич., т. XXXI, вып. VII, 1954.
7. Николаев В. А., Разумовский Н. К. Месторождения ремерита и других сульфатов железа на р. Кельды в Александровском хребте в Туркестане. Зап. Российского Минералогич. об-ва, ч. I, XII, 1933.
8. Смирнов С. С. Зона окисления сульфидных месторождений, ОНТИ НКТП СССР, М.—Л., 1936.
9. Эфендиев Г. X. Гидротермальный рудный комплекс северо-восточной части Малого Кавказа. Изд. АН Азерб. ССР, 1957.
10. Anderson Chas. Voltaite from Jerom, Ariz., Am. Mineral., vol. 12, 1927, p. 288.
11. Bandy, M. C. Mineralogy of three sulphate deposits of northern Chile. The American mineralogist, vol. 23, 1938.
12. Berry, L. G. On the pseudocopiapite of Ungemach—Univ. Toronto studies. Geol. ser., no. 41, 1938.
13. Berry, L. G. A study of copiapite. M. A. Thesis, Univ. of Toronto (M. S.), 1938.
14. Berry, L. G. Composition and optics of copiapite (program note), Am. Mineral., vol. 23, no 12, pt 2, 1938.
15. Berry, L. G. Composition and optics of copiapite (abs.). Am. Mineras., vol 24, 1939.
16. Berry, L. G. Composition and optics of copiapite. Univ. Toronto stud., Geol. ser., no 51, 1947.
17. Bertrand, E. De l'application du microscope á l'etude de la mineralogie. Bull. Soc. Min. France, t. 4, 1881, pp. 8—15.
18. Collins, M. F. On some crystallized sulphates from the province of Huelva, Spain. Min. Mag., vol. 20, 1923, pp. 32—38.
19. Dana, E. S. System of mineralogy, New-York, 1892.
20. Darapsky, L. Über einige Mineralien aus Atacama. Jb. Min., I, 1890, pp. 49—70.
21. Darapsky, L. Zeitschrift für Kristallographie und Mineralogie, N 29, 1898.
22. Des Cloizeaux, A. Note sur les propriétés optiques de l'erythrozoine, de la raimondite et de la copiapite. Bull. Soc. Min. France, t. 4, 1881, pp. 40—42.
23. Doelter, C. Handbuch der Mineralchemie, t. 4 (2), Dresden—Leipzig, 1929.
24. Garavelli, G. Ricerche su alcuni solfati del giacimento ferrifero di terranera. (Isola d'Elba). Rendiconti della società mineralogica Italiana, Anno XI, 1955, pp. 119—143.
25. Goldschmidt, V. Atlas der Krystallformen, t. 2, Heidelberg, 1913.
26. Haidinger, W. Handbuch der bestimmenden Mineralogie. Vienna, 1845.
27. Hintze, C. Handbuch der Mineralogie, t. I, p. 3 (2), Berlin—Leipzig, 1930.

28. Larsen, E. S. Microscopic determination of the nonopague minerals, 1921. U. S. Geol. Surv. Bull. 679, pp. 61—62.
29. Lausen, C. Hydrous sulphates formed under fumerolic conditions at the united Verde Mine. The Amer. Min. Journ., v. 13, 1928.
30. Linck, G. Beitrag zur Kenntnis der Sulfate von Tierra Amarilla bei Copiapo in Chile. Zeitschr. Kryst., t. 15, 1889, s. 1—28.
31. Mackintosh, J. B. Notes on some natural iron sulphates from Chile. Am. Jour. Sci., vol. 38, 1889, pp. 242—245.
32. Manasse, E. Identität des sogenannten Ihleit von Elba mit dem Copiapit (abs.) Zeits. Kryst., v. 54, 1911, p. 205.
33. McCaugher, W. J. Copiapite in coal. Am. Min., vol. 3, 1918, pp. 162—163.
34. Meixner, H. Copiapit von Girob-Stübing (Steiermark) Mitt. Nat. Ver. f. Steiermark 70. Giraz, 86—88, 1933.
35. Meixner, H. Einige Ferrisulfate (Slavikit, Copiapit und Fibroferrit) von Pöham in Salzburg Zentralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie. Abt. A: Mineralogie und Petrographie, 1939.
36. Melville, W. a. Lindgren, W. Contributions to the mineralogy of the Pacific Coast. U. S. Geol. Surv., Bull., 61, pp. 23—26.
37. Palache, C., Peacock, M. A. a. Berry, L. G. Crystallography of copiapite. Univ. Toronto studies, Geological series, no 50, 1946, pp. 9—26.
38. Peacock, M. A. Crystallography of copiapite (abs.) Am. Mineral., vol. 24, 1939.
39. Pezmingeat, Revue des especes minerales nouvelles. Bull. Soc. France de Mineralogie et Cristal., t. 73, 4, 7/9, 1950, pp. 461—478.
40. Posnjak, E. a. Merwin, H. E. The system $Fe_2O_3-SO_3-H_2O$. Journ. Am. Chem. Soc. t. 44, 1922, pp. 1965—1944.
41. Rose, G. Über einige in Südamerika vorkommende Eisenoxydsalze. Ann. Phys., t. 27, 1833, s. 309—319.
42. Rossoni, P. La copiapite dell'isola del Giglio—Atti (proc. verb.) Soc. Toscana Sci. Nat., vol. 45, pp. 24—26. Abstract in Min. Abs. vol. 7, p. 11, 1936.
43. Rost, R. The minerals formed on burning heaps in the coal basin of Kladno. Bull. Internat. Acad. Sci. Bohemia, 1937, preprint 7 pp., Abstract in Min. Abs. vol. 7, p. 11, 1937.
44. Rost, R. O ceskych copiapitech—von böhemischen Copiapiten. Sbornik Narodního Musea, Praha, vol. 2, pp. 215—223, Abstract in Min. Abs., vol. 9, 1940, p. 204.
45. Schairer, J. E. a. Lawson, C. C. Copiapite from the Santa Maria Mountains, East Riverside Co. California. Am. Mineral., vol. 9, 1924, pp. 242—244.
46. Schaller, W. T. Minerals from Leona Heights Alameda Co. California. Bull. Dept. Geol. Univ. California, vol. 3, 1903, p. 191.
47. Scharizer, R. Beiträge zur Kenntnis der chemischen Constitution und der Genese der natürlichen Ferrisulfate VIII. Zeitschr., kryst., t. 52, 1913.
48. Scharizer, R. Die Eisensulfate. In Buch C. Doelter. Handbuch der Mineralchemie, 4, 2, 1929, s. 537—592.
49. Spencer, L. J. Fifteenth list of new mineral names, with an index of authors. Min. Mag. t. 25, 1940, pp. 621—660.
50. Strunz, H. Mineralogischen Tabellen, 3 auflage. Leipzig, 1957.
51. Todoroff, L. Über de Jánosit—Leits. Kryst., vol. 43, 1907, pp. 369—378.
52. Ungemach, H. Sur certains minéraux sulfatés du Chili. Bull. Sos. France. Min., t. 58, 1935, pp. 97—221.
53. Walker, T. L. Copiapite from Liard. Univ. Toronto Studies, Geol. Ser. N 14, 1922, pp. 84—86.

М.-Э. Гашгај, Р. М. Алијев

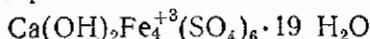
Копиапит групуна аид олан јени калсиокопиапит (тусиит¹) минералы
вэ бу групун үмуми сэчијјэси һаггында

ХУЛАСӘ

1. Мүәллифләр тәрәфиндән контакт-метасоматик типли Дашкәсән дөмир филизи јатағында копиапит групуна аид јени минерал тапылмышдыр; о, бу групун мөдум минералларындан кимјөви тәркибиндә иквивалентли әсасын тамамы илә калсиумдан ибарәт олмасы илә фәргләнир.

¹ Јени минерал XIII әсрдә јашамыш даһи Азәрбајчан астроному вэ тәбиәтшүнәсы Мөһәммәд Нәсрәддин Тусиниң шәрәфинә адландырылмышдыр.

Копиапит групунун мэдүм олан башга минералларында иквалентли металлардан Mg, Fe, Cu вэ Zn-ин иштиракы илэ нөвлөр ажрылмышдыр. Бэ'зэн бу нөвлөрдө аз мигдарда калсиум гатышыгына раст кэлмек олур. Јени минерал—тусиитин кимјөви анализинэ көрө онун үмүми формулу үчвалентли дөмир вэ калсиумун сулу эсасы сульфаты шөклиндө јазылмалыдыр:



Бизим калсиокопиапитин бир молекулуудан тәшкил олунмуш элементар өзөјинин там тәркиби онун кимјөви тәһлилинде верилмишдир.

2. Бизим калсиокопиапитин дөгиг тэдгиги илэ элагөдар олараг, мүәллифлөр рус вэ харичи әдәбијатда копиапит һаггында олан мәлу-матларла таныш олмуш вэ бу груп минералларын кимјөви анализләри 1-чи чөдвәлдө топланмышдыр. Бүтүн бу анализләрә әсәсэн копиапит групы минералларынын кимјөви тәркиби ашағыдакы үмүми формула илэ верилә биләр:



Бурада X—Na, K, Cu, Zn, Fe⁺², Mn, Mg, Ca, Al, Fe⁺³

элементләри олуб, онларын ажры-ажры вэ ја бир нечәсинин бирликдә бир оксикен эквалентинә тәфәвүт едир; R исә тамамы илэ Fe⁺³ вэ ја гисмән Al-дан ибарәтдир.

3. Копиапит групы минералларынын адландырылмасында вәһид фикир бирлији јохдур. Гәбул едилмиш минераложи номенклатураја әсәсэн копиапит групы минералларынын нөв вэ вәрететләрини үмүми формулун әсәсэн иквалентли металлардан ибарәт олан һиссәсиндә иштирак едән элементләрлә адландырмаг јахшы оларды. Бу һалда Л. Г. Берри (1947) тәрәфиндән көстөрилән адлары сахламаг даһа мәсләһәтдир:

Феррикопиапит—X компоненти әсәсэн Fe⁺³-дан тәшкил олдугда

Алүмокопиапит	"	"	Al	"	"
Феррокопиапит	"	"	Fe ⁺²	"	"
Магнезиокопиапит	"	"	Mg	"	"
Купрокопиапит	"	"	Cu	"	"

вэ нәһәјәт бураја јени тапылмыш минералы—калсиокопиапит кими (X компонент әсәсэн Са-ла ифәдә олувдугда) эләвә етмәк ләзимдыр.

4. Копиапитләрин термик хүсусијјәтләринин мүкәммәл үсулла тәдгиг едилмәси илэ элагөдар олараг, ишә даһил едилән термограмлар мүәј-јән дәрәчәдә диггәтәләјигдир; термограмда 4 ендотермик вэ 2 экзотермик реаксијалар гејд едилир. Минералдакы молекулјар су, гидроксил вэ сулфат группларынын тәбиәти мүәјјәнләшдирилмишдир.

5. Копиапитин гониометрик тэдгиги илэ бир сыра алимләр мәшғул олмуш вэ онун кристалларында 146 бәсиат форма гејд едилмишдир. Бу груп минералларын морфотропијасынын дөгиг өјрәнилмәсинә бахмајараг, үмүмијјәтлә копиапит үчүн һөндәси сабитләр һесаблинмышдыр.

6. Кристаллик шәбәкәнин элементар өзөјинин мүкәммәл характеризә едилмәсинә бахмајараг, копиапит групы минералларынын кристаллик структуру тэдгиг едилмәмишдир.

Тусиитин Дебај-Шеррер үсулу илэ рентгенофизики тэдгигинин нәтичәләри диггәтәләјигдир.

7. Копиапит групы минералларынын оптик хүсусијјәтләри кимјөви тәркибдән асылы олараг дәјилшир. Үмүмијјәтлә копиапитин оптик сабитләри һудудларыны ашағыдакы кими көстөрмәк олар:

$$N_g = 1,570 - 1,620, N_p = 1,507 - 1,531, N_m = 1,529 - 1,575$$

8. Копиапит групы минераллары гиперкөн шәраитдә вэ мүхтәлиф физики-кимјөви мүһитдә әмәлә кәлир: дөмир сульфидләринин кимјөви

ашынмасы нәтижәсіндә вә ја дәмйр минералларынын ашынма мәнсулларына сульфатлы мәнлулларын тәсйри илә, һабелә исти минерал сулардан билаваситә чөкмәклә вә с.; копиапит һәмчинин сүн'и јолла да алынмышдыр.

Тусийт Дашкәсән дәмйр филиз јатағында дәмйр сульфидләринин кимјәви ашынмасындан вә ја сульфатлы мәнлулларын дәмйрли ашынма мәнсулларына тәсйриндән, һәмчинин мүһитдә аз мигдарда калсиумун олмасы нәтижәсіндә әмәлә кәлмишдыр.

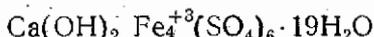
Тусийт вә үмумийјәтлә копиапит групу минералларынын әмәләкәлмә шәраити һағында мүфәссәл мәлумаһ хусуси башлыг алтында верилмишдыр.

The Academy of Sciences of the Azerbaijan S.S.R. acad. M. A. Kashkai, R. M. Alijev

The New Mineral—Calcicociapite (Tucit) of the Copiapite Group and the Characteristics of this Group in General

SUMMARY

1. The hypergene mineral of the copiapite group—tucit, discovered by us in the skarno-iron ore deposit of Dashkessan (Middle Caucasus, Azerbaijan S.S.R.), turned out to be a new kind of metal in which the two valence base X consists almost completely of calcium. In other minerals of the same group the two valence elements are represented by magnesium, iron and other metals, sometimes with the addition of calcium. The chemical analysis of the new mineral-tucit is shown in table I № 46, and the calculation of its formula is expressed as water base sulphate of the three valence iron and calcium:



2. In connection with the investigation of the new mineral the authors have collected almost all foreign and Russian literature referring to copiapite, as well as all the existing analyses (table I). A review of literature has shown that the general formula for copiapite must be expressed in the following way:



expressing at the same time the composition of the elementary cell, where X is one oxygen equivalent of one or more of the following elements:

Na, K, Cu, Zn, Fe^{+2} , Mn, Mg, Ca, Al и Fe^{+3} , and R — Fe^{+3} or Al

3. There is no unity of opinion in assuming the name for separate kinds of minerals and the varieties of the copiapite group. Following the established requirements in accordance with the mineralogical nomenclature the varieties of minerals belonging to the copiapite group should get their names depending upon the presence of the valence elements in the basic part. Besides it is desirable to keep for the copiapite group of minerals those names which are presented by L. G. Berry (1947):

Ferricociapite

in which the X component of the formula is, in the main, three valence iron.

Aluminocopiapite

where X in the main is Al

Ferrocopiapite

where « » Fe^{+2}

Magnesiocopiapite

where « » Mg

Cuprocopiapite

where « » Cu

adding here our new kind of mineral copiapite as calcium copiapite.

4. The investigation of the thermal properties of copiapite was carried out by imperfect methods, therefore the curves of heating and dehydration given by us should present a certain interest. They are typical for all minerals of the copiapite group.

Four endothermic and two exothermic reactions are established (table 2). Moreover we have interpreted the nature of molecular (H_2O) and hydroxyl (OH) water, as well as that of sulphate ions in copiapite. Their interpretation and content (in%) are established by temperature intervals to which correspond a definite amount of water and sulphate ions.

5. A number of investigators have examined copiapite goniometrically. They have registered 146 simple forms (table 3) (fig. 4, 5, 6,) and the elementary cell and constants of copiapite have been calculated.

6. The crystalline structure of copiapite has not been learnt. Data of X-rays on our calcio copiapite-tuciit (table 4) must present a definite interest, especially, the calculations of interplaner spaces (hkl).

7. The copiapite refractive indexes (table 5) change mainly depending upon their chemical composition in the range of Np—1,507—1,531, Nm—1,529—1,575 and Ng—1,570—1,620.

8. Minerals of the copiapite group are formed in hypergene conditions in the most variable physico-chemical surrounding: under chemical weathering of ironbearing minerals, especially sulphides and sulphates, at underground fires in pyrite deposits, from hot mineral sources and, finally, they are got artificially. The calcium bearing varieties, tuciit, in particular, was formed in iron-ore deposit with the desintegration of iron sulphides or under the influence of sulphuric acid solutions on the products of magnetite and hematite weathering. These processes developed in conditions marked by a deficiency in calcium carbonate. Otherwise plaster should have been formed. Chemical reactions in the presence of which there takes place the formation of minerals belonging to the copiapite group, including our new mineral-tuciit, are given in the section «About the conditions of copiapite formation».