

А. А. БЕУС

НОВЫЕ ФОСФАТЫ ИЗ ПЕГМАТИТОВ ТУРКЕСТАНСКОГО ХРЕБТА

Первые заметки о находках различных фосфатов в пегматитах Туркестанского хребта встречаются в отчетах Таджикско-Памирской экспедиции в период 1933—1934 гг.

В эти же годы в печати появляются очень краткие описания обнаруженных минералов (Арапов, 1936), диагностика которых в ряде случаев вызывает законные сомнения. Всего в пределах Туркестанского пегматитового поля было обнаружено десять минералов из группы фосфатов (трифилин, литиофилит, апатит, гетерозит, амблигонит, вивианит, цефаровичит, псевдовавелит, ландезит, гордонит), однако детального минералогического описания указанных минералов произведено не было.

В период 1945—1948 гг. автором настоящей статьи было произведено специальное изучение минералогии и генезиса фосфатов из указанного района. Фосфаты были встречены в мусковит-микроклиновых и сподуменальбитовых пегматитах, причем участками концентрации фосфатов преимущественно являются:

а) в мусковит-микроклиновом типе — мусковитовая зона, расположенная на границе зоны блокового кварца (центральное «ядро» жилы) и окружающей его зоны блокового микроклина, реже — краевые участки зоны блокового кварца;

б) в сподумен-альбитовом типе — альбитовая зона, окружающая центральную кварцево-сподуменовую зону (Беус, 1948).

В процессе работы было обнаружено девять ранее не отмечавшихся минералов из группы фосфатов, из которых три описываются впервые для пегматитовых месторождений СССР (арроядит, эвансит, вашегит), а два являются новыми минералами (магниофилит и манганконинкит).

Трифиллин, литиофилит, сиклерит

Трифиллин — наиболее распространенный минерал из группы Fe—Mn фосфатов, встречающихся в пегматитовых жилах. Изменяясь, он дает начало целому ряду вторичных и трудно диагностируемых водных фосфатов железа и марганца, среди которых при дальнейшем изучении, несомненно, еще будут обнаружены новые минеральные виды.

Трифиллин был встречен в виде двух генераций, довольно сильно различающихся по габитусу и характеру выделения.

Трифиллин I главным образом встречается в мусковитовой зоне пегматитовых жил мусковито-микроклинового типа, изредка в периферических участках зоны блокового кварца на границе с мусковитовой зоной.

Трифиллин II обычен в фосфатовых секрциях альбитовой зоны пегматитов сподумен-альбитового типа. Ранний трифиллин I мусковитовой зоны образует неправильные сплошные гнезда, размером до 5×10 см, в кварце и кварц-мусковитовой породе. Встречается также в виде скоплений довольно плохо образованных кристаллов призматического облика, достигающих 8 см по длинной оси и 3 см в поперечнике. В кварце изредка встречаются призматические кристаллы, несущие головку с четырьмя или пятью гранями.

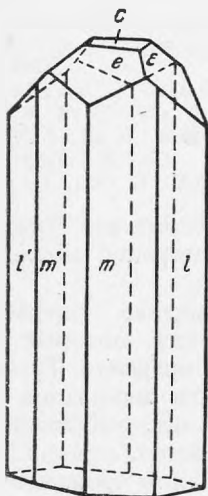


Рис. 1. Кристалл трифиллина (Кырк-Булак).

Измерение прикладным гониометром позволило определить следующие грани: b (010); c (001); m (110); l (120); e (101); ϵ (021). Облик одного из типичных кристаллов изображен на рис. 1.

При равном развитии граней призматического пояса lm кристаллы трифиллина, имеющие головку, приобретают характерный псевдогексагональный облик.

Цвет трифиллина зеленовато- или голубовато-серый, до серого. Местами в минерале появляются пятна и прожилки зеленого и розоватого цвета, что связано с прорастаниями трифиллина магнофилом и арродитом (см. ниже). Удельный вес трифиллина, определенный пикнометрически, оказался равным 3,311.

Под микроскопом неизмененный трифиллин бесцветен. Хорошо заметна спайность по (001) и (010), слабее по (110). Показатели преломления в различных образцах изменяются в следующих пределах: $N_g = 1,700 \pm 0,003 - 1,708 \pm 0,003$; $N_m = 1,700 \pm 0,003 - 1,705 \pm 0,003$; $N_p = 1,692 \pm 0,003 - 1,695 \pm 0,003$; оптически отрицательный; $2V$ изменяется от 10 до 25° . Заметна дисперсия

Таблица 1

Компоненты	Турнестанский хр. А. Беус		Варугреск, П. Квенсел	
	%	молекул. колич.	%	молекул. колич.
P_2O_5	44,54	313	44,10	310
FeO	32,28	448	24,33	337
Fe_2O_3	1,14	007	0,00	—
MnO	11,52	152	18,95	270
MgO	3,03	73	Сл.	—
CaO	0,16	—	1,82	032
Li_2O	6,83	228	8,52	285
K_2O	—	—	0,00	—
Na_2O	0,64	012	0,16	003
H_2O^+	0,24	—	0,31	—
Нераств. остаток	—	—	1,24	—
Сумма	100,38	—	99,72	—

$\rho > \nu$. Удлинение кристаллов положительное, оптическая ориентировка обычная, т. е. $X = c$; $Y = a$; $Z = b$. Плоскость оптических осей (100).

Трифиллин I очень редко представляет собою мономинеральные выделения. Почти все изученные под микроскопом образцы обнаружили тесные закономерные сростания трифиллина с магнеофилитом (см. ниже), причем количество вростков последнего колеблется от 0 до 25%.

Автором был произведен химический анализ сростаний трифиллина и магнеофилита, результаты которого приводятся в табл. 1.

Учитывая, что анализировалась смесь трифиллина и магнеофилита, и основываясь на полученных при анализе магнеофилита (см. ниже) молекулярных отношениях $P_2O_5 : (Mn, Fe, Mg)O = 1 : 3$, а также $FeO : MnO = 1 : 1,75$, при пересчете анализа получим возможный состав анализированного агрегата, приведенный в табл. 2.

Таблица 2

Минералы	Молекулярное количество						Сумма	
	P_2O_5	FeO	Fe_2O_3	MnO	MgO	$Li_2O + Na_2O$		
Трифиллин	201	402	—	—	—	201	804	$LiFePO_4$ около 64%
Литиофилит	39	—	—	78	—	39	156	$LiMnPO_4$ около 13%
Магнеофилит	68	47	—	84	73	—	272	$(Mn, Fe, Mg)_3(PO_4)_2$ около 24%
Остаток (гетерозит)	5	—	5	—	—	—	10	Около 0,8%

В остатке оказались эквивалентные соотношения Fe_2O_3 и P_2O_5 , что, по всей вероятности, связано с окислением трифиллина.

Приблизительность пересчета обусловлена тем, что MgO, помимо вхождения в состав магнеофилита, может изоморфно замещать FeO и Li_2O в трифиллине, что, повидимому, и происходит, так как количество магнеофилита по пересчету несколько больше, чем наблюдается в действительности.

Большинство анализов трифиллина из литературных источников показывает ничтожное содержание магния, однако один из анализов, произведенных Д. Линдгреном на материале из Ньюпорта (штат Нью-Гемпшир, США), отличается очень высоким содержанием MgO (7,38%).

Ч. Чапман, изучивший эту модификацию трифиллина, делает предположение об участии в построении трифиллина трех компонентов: $LiFePO_4$; $LiMnPO_4$; $LiMgPO_4$.

Указание на наличие в трифиллине каких-либо включений у Ч. Чапмана отсутствует, пересчитанный анализ хорошо укладывается в формулу $Li(Fe, Mn, Mg)PO_4$.

Таким образом, весьма вероятно существование предполагаемого Ч. Чапманом компонента $LiMgPO_4$. Отметим также, что изоморфизм, повидимому, может идти и по пути замещения магнием лития (радиусы ионов Li и Mg, как известно, равны) с образованием соединения типа $(MnFe, Mg)_3(PO_4)_2$. Подобную формулу должен иметь магниевый аналог литиофилита, описанный ниже.

Помимо мусковитовой зоны пегматитов мусковит-микроклинового типа (в которых трифилин довольно редок), трифилин и связанный с ним гетерозит обычны в сподумен-альбитовом типе, где фосфаты располагаются в альбитовой зоне среди пластинчатого клевеландита в виде гнезд, достигающих 20 см в диаметре. Вокруг гнезд часто находится оторочка из пластинок зеленоватого мусковита или кристалликов зеленого или синего турмалина. Реже внешняя зона гнезд составлена амблигонитом. Для всех фосфатовых образований данного типа весьма характерна «ельчатая» структура, аналогичная описанной А. И. Гинзбургом (1949, 1950) для пегматитов Калбинского хребта. Весьма интересно, что собственно трифилин и литиофилит в фосфатовых гнездах встречаются чрезвычайно редко в самых центральных частях, будучи почти полностью замещенными целым рядом фосфатов, характеризующихся уменьшением количества Li и Mn от центра гнезда к периферии.

В изученных нами фосфатовых образованиях с сохранившимися реликтами первичных фосфатов Fe—Mn—Li наблюдалась следующая зональность:

а) Центральная зона (до 0,4 см в диаметре) — литиофилит серо-розоватого цвета со слабым жирным блеском и твердостью около 5. Оптически положительный; $2V$ в измеренном образце = $+64^\circ$; $N_g = 1,685 \pm 0,002$; $N_m = 1,678 \pm 0,002$; $N_p = 1,675 \pm 0,002$. Спайность совершенная в двух направлениях под углом -90° , угасание, по отношению к спайности, прямое. Плеохроизм отсутствует.

б) Далее идет зона серого, буряющего к периферии, трифилина толщиной 13—14 мм. Под микроскопом трифилин почти аналогичен описанному выше литиофилиту. Оптически положительный; $2V$ (по ряду измерений) колеблется от 48 до 58° ; $N_g = 1,692 \pm 0,002$; $N_m = 1,688 \pm 0,002$; $N_p = 1,683 \pm 0,002$.

в) Трифилин сменяется зоной коричневого фосфата (около 0,3 см), также содержащего Li и по ряду признаков сходного с с и к л е р и т о м. Под микроскопом он представлен крупнокристаллическим агрегатом светлорыжевого цвета без заметного плеохроизма с очень высоким рельефом и интерференционными окрасками II порядка.

Минерал обладает совершенной спайностью по двум направлениям под углом 90° и прямым угасанием. Оптический знак отрицательный. Показатели преломления его: $N_g = 1,738 \pm 0,003$; $N_p = 1,714 \pm 0,003$.

г) Сиклерит по трещинам спайности и дробления интенсивно замещается бурым гетерозитом, составляющим основную массу большинства фосфатовых гнезд. После выщелачивания гнезд фосфатов остаются характерные ельчатые скелетные образования, построенные мелкими кристалликами турмалина и альбита, закономерно прораставшими выщелоченные фосфаты.

Помимо гнездовидных скоплений, литиофилит был встречен в виде агрегата, замещающего манган-апатит. Оптические константы этой генерации, по Ю. Арапову, следующие: $N_g = 1,689 \pm 0,003$; $N_m = 1,682 \pm 0,003$; $N_p = 1,678 \pm 0,003$.

Мелкокристаллический агрегат медово-желтого цвета (замещает манган-апатит), описанный здесь же Ю. Араповым как трифилин, на последний совсем не похож, и по ряду признаков напоминает сиклерит. Его константы (по измерениям Ю. Арапова) выше, чем у нашего трифилина, но ниже, чем у сиклерита. плеохроизм меняется от красно-бурого по N_g до розово-желтого по N_p . $N_g = 1,708 \pm 0,002$; $N_m = 1,692 \pm 0,002$; $N_p = 1,689 \pm 0,002$; $2V$ в среднем $+45-60^\circ$.

Гетерозит

Изменение трифилина в первую очередь идет непосредственно по пути окисления. Двухвалентные железо и марганец переходят в трехвалентные, литий выщелачивается из минерала. Окончательный продукт подобного изменения описан из многих пегматитовых месторождений под различными названиями (гетерозит, псевдотриплит и др.), из которых наиболее общепринятое — гетерозит.

Образование гетерозита по трифилину в описываемых пегматитах характерно главным образом для зоны окисления пегматитовых жил. Гнезда гетерозита, заместившего трифилин, встречаются в мусковитовой

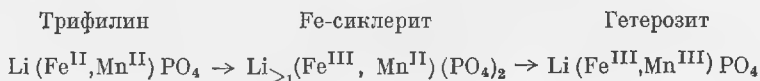


Рис. 2. Неизмененные вроски магнезиолита в гетерозите по трифилину (Кырк-Булак). Ув. 8; без анализатора.

зоне и внутри часто содержат реликты трифилина. Цвет минерала темно-бурый, блеск алмазный или матовый. Спайность в трех направлениях, аналогично трифилину. Удельный вес (пикнометрически) 3,410.

Показатель преломления очень высокий (выше 1,78). Сильный плеохроизм: Ng — красно-бурый, Nm и Np — темнокрасный; $2V = -86^\circ$. Знак минерала определяется с трудом из-за интенсивной окраски минерала. Оптическая ориентировка трифилина сохраняется. Плоскость оптических осей (100). Угасание прямое. Граница между трифилином и замещающим его гетерозитом резкая. Интересно, что вроски магнезиолита в трифилине не подвергаются гетерозитизации и остаются свежими (рис. 2).

Следует отметить, что среди продуктов гетерозитизации трифилина I нами не отмечен сиклерит, установленный П. Квенселом (Quensel, 1937), предложившим следующую схему изменения трифилина:



Однако, повидимому, в каждом случае трифилин при окислении должен проходить стадию неполного окисления марганца, окисляющегося медленнее, чем железо.

Автором был выполнен анализ гетерозита из описываемых пегматитов. Для сравнения в табл. 3 приводится также анализ гетерозита из месторождения Варутреск.

Таблица 3

Компоненты	Турнестанский хр., А. Беус		Варутреск, П. Квенсел	
	%	молекул. колич.	%	молекул. колич.
FeO	4,18	058	Нет	—
Fe ₂ O ₃	35,32	221	27,44	172
MnO	2,40	034	3,60	051
Mn ₂ O ₃	9,28	059	20,42	126
CaO	0,67	—	1,70	030
MgO	1,84	046	0,17	005
Li ₂ O	Нет	—	0,46	005
Na ₂ O	»	—	1,12	018
P ₂ O ₅	45,31	320	41,93	287
H ₂ O ⁺	0,54	030	1,65	091
H ₂ O ⁻	Нет	—	1,67	—
Нераств. остаток	—	—	0,30	—
Сумма	99,54	—	100,46	—

В связи с тем, что анализировалась смесь гетерозита и неизмененного магнофилита, марганец, определенный в виде MnO₂ и (для проверки) MnO, был пересчитан на MnO и Mn₂O₃, соответственно сумме FeO и MgO, входящих в магнофилит. При пересчете произведенного анализа получены данные, приведенные в табл. 4.

Таблица 4

Минералы	Молекулярное количество						Сумма	
	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	Mn ₂ O ₃	MgO	P ₂ O ₅		
Гетерозит	—	215	—	—	—	215	430	FePO ₄ около 59% MnPO ₄ около 16% (Fe, Mn, Mg) ₃ (PO ₄) ₂ около 25%
Пурпурит	—	—	—	59	—	59	118	
Магнофилит	58	—	34	—	46	46	184	
Остаток	—	6	—	—	—	—	—	—

Некоторая приблизительность пересчета обусловлена теми же причинами, что и в случае трифилина. Анализ гетерозита показывает отсутствие воды. Гидратация, повидимому, есть следующая стадия изменения минерала.

Для наблюдавшегося нами случая можно предложить следующую схему изменения трифилина:

Плоскость оптических осей вростков совпадает с плоскостью оптических осей трифилина (100). В измеренных образцах острые биссектрисы угла оптических осей магнофилиита (N_g) и трифилина (N_p) располагались под углом $30-45^\circ$. Магнофилиит оптически положительный. $2V$ в замеренных образцах изменялся от 42 до 50° , будучи в среднем равен 46° (рис. 5).

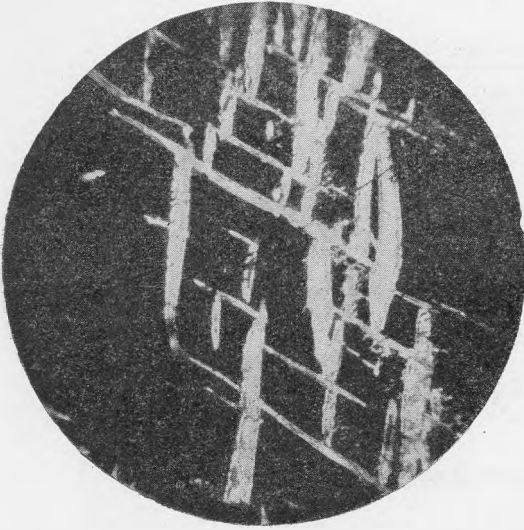


Рис. 4. Срастания трифилина с магнофилиитом. Ув. 8; ник. +; трифилин погашен.

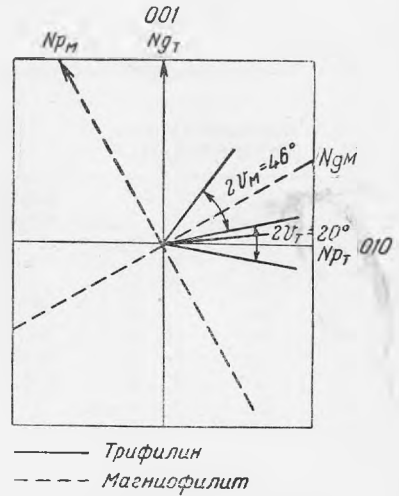


Рис. 5. Оптическая ориентировка вростков магнофилиита в трифилине (с индексами: т — константы трифилина, м — константы магнофилиита).

Под микроскопом магнофилиит бесцветен. В табл. 5 дается сравнение оптических свойств магнофилиита и сходного с ним по типу формулы графтонита из различных месторождений.

Таблица 5

Месторождение	Автор	Цвет	N_g	N_m	N_p	$2V$
Туркестанский хр.	А. Беус	Лососево-розовый	$1,712 \pm 0,002$	$1,706 \pm 0,002$	$1,695 \pm 0,002$	46°
Графтон(США)	Ларсен	То же	1,724	1,705	1,700	55°
Гротон (США)	Берман	Лососевый	1,725	1,706	1,704	50°

Как видно из табл. 5, магнофилиит обладает несколько иными оптическими свойствами, чем графтониты из месторождений США.

Несколько отличной, хотя и сходной с графтонитом, оказалась рентгеноструктура магнофилиита. В табл. 6 приведены данные рентгеноструктурного анализа магнофилиита (без линий очень слабой интенсивности) и для сравнения константы графтонита, взятые из работы М. Л. Линдберг (Lindberg, 1950).

Химический анализ магнофилиита, произведенный автором, показал высокое содержание MgO и почти полное отсутствие CaO , характерного для графтонита. Данные анализа приведены в табл. 7.

Таблица 6

Излучение железное, фильтр марганцевый

Магниофилит		Графтонит (Nickel Plate)	
Интенсивность линий	d	Интенсивность линий	d
Слабые	3,762	2	4,31
»	3,540	1	3,61
		9	3,50
		4	3,02
		4	2,956
Яркие	2,850	10	2,860
		1	2,810
Средние	2,699	7	2,715
Слабые	1,955	1	1,970
Широкие яркие	1,933	2	1,927
Слабые	1,737	1	1,737
»	1,722	1	1,741
»	1,670	2	1,687
»	1,508	2	1,516
»	1,436	1	1,423
»	1,347	1	1,351

Таблица 7

Компоненты	Туркестанский хр., А. Беус		Графтон (США)	
	%	молекул. колич.	%	молекул. колич.
FeO	16,95	236	30,65	432
Fe ₂ O ₃	Нет	—	—	—
MnO	30,77	434	17,62	249
CaO	0,54	009	9,23	164
MgO	9,50	235	0,40	10
Li ₂ O	Нет	—	0,33	—
P ₂ O ₅	42,52	299	41,20	290
H ₂ O ⁺	0,42	—	0,75	—
Сумма	100,71	—	100,18	—

Пересчитывая химический состав анализируемого минерала, получим формулу: $3(\text{Mn, Fe, Mg})\text{O} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ или $(\text{Mn, Fe, Mg})_3(\text{PO}_4)_2$. Для описанного магниевого аналога графтонита предлагается название магниофилит.

Высокое содержание магния в магниофилите и других фосфатах из ряда пегматитов Туркестанского хребта может быть объяснено связью образования фосфатов с ассимиляцией ксенолитов кварцево-биотитовых сланцев, попавших в центральные части жилы. Магний и железо из биотита в сочетании с марганцем пегматитового расплава явились своеобразными осадителями фосфора в виде фосфатов, окружающих и переполняющих реликты ксенолитов.

Арроядит (магноарроядит)

Арроядит — сложный ортофосфат натрия, железа, марганца и кальция — был впервые описан португальскими, а затем американскими геологами, изучавшими пегматитовые месторождения Рио-Гранде дель Норте и Параиба в Бразилии. Позднее арроядит был обнаружен в некоторых других пегматитовых месторождениях (Хюннеркobel в Баварии, Варутреск и др.).

Фосфат, отнесенный нами к арроядиту, был впервые встречен в шлифах, взятых на границе трифилина и альбита II в альбитовой зоне (рис. 6).



Рис. 6. Реакционная кайма арроядита на границе трифилина (Т) и альбита (Ал). Ув. 8; без анализатора.

Позднее удалось найти подобные же образования непосредственно в образцах из той же жилы. Темнозеленые каемки арроядита окаймляют зерна альбита, включенные в трифилин. Очень редко встречаются удлиненные призматические кристаллы с хорошо развитыми гранями a (100); b (010) и очень слабо развитой m (110). Размер кристаллов до $0,5 \times 2$ см.

По своим свойствам описываемый минерал очень близок к арроядиту из Бразилии. Твердость его около 5. Спайность совершенная в одном направлении. Угасание почти прямое ($2-4^\circ$).

Показатели преломления арроядита в сравнении с данными по другим месторождениям следующие:

	n_g	n_p
Туркестанский хребет	$1,720 \pm 0,003$	$1,708 \pm 0,003$
Хюннеркobel (Бавария) около	1,785	1,754
Параиба (Бразилия)	1,70	—
Варутреск (Швеция)	1,731	1,718

Большие колебания показателей преломления арроядита объясняются обычно частичным окислением двухвалентного железа, входящего в фор-

мулу минерала. Оптически отрицательный; $2V = 72^\circ$. Несколько отличен от литературных данных характер плеохроизма описываемого минерала. У арродита из Параибы (Бразилия) плеохроизм сильный; по $X = Y$ — минерал бесцветный, по Z — бледнозеленый.

Исследованный мною минерал характеризуется слабым плеохроизмом: по Z он темнозеленый, по X и Y — зеленый, немного светлее, чем по Z . Отмеченная разница в плеохроизме зависит, по всей вероятности, от своеобразия состава исследованного минерала.

Автором был выполнен химический анализ призматического арродита. Результаты анализа приведены в табл. 8.

Таблица 8

Компоненты	Туркестанский хр., А. Беус, 1948		Серра-Бранка, Параиба (Бразилия), С. Альмайд, 1944		Хюннеркobelь, С. Массон, 1942		Норро, Эринсон, 1936	
	%	молекул. колич.	%	молекул. колич.	%	молекул. колич.	%	молекул. колич.
Fe ₂ O ₃	21,39	132	12,39	078	26,49	166	14,45	090
FeO	12,51	174	19,84	276	7,09	099	18,15	252
MnO	12,90	181	12,33	174	6,44	091	9,79	138
MgO	6,71	166	1,85	046	0,68	017	2,55	063
CaO	0,41	007	5,69	098	9,70	173	1,35	024
Na ₂ O	5,08	082	4,67	075	3,73	060	9,67	156
K ₂ O	Следы	—	1,45	015	0,05	—	0,06	—
Li ₂ O	»	—	Следы	—	0,36	—	0,25	—
P ₂ O ₅	41,05	290	34,32	242	39,40	277	41,93	295
H ₂ O ⁺	0,67	037	4,96	275	4,49	249	0,85	044
H ₂ O ⁻	—	—	0,44	—	0,24	—	0,20	—
SiO ₂	—	—	0,66	—	1,88	—	0,50	—
Сумма	100,72	—	100,12	—	100,55	—	99,75	—
Уд. вес.	3,47	—	—	—	3,45	—	3,55	—

Для сопоставления анализированных минералов нами были произведены пересчеты, приведенные ниже (при пересчете все железо пересчитано на закисное).

M ₂ O : MO : P ₂ O ₅ : H ₂ O	FeO : Fe ₂ O ₃	(MO + M ₂ O) : P ₂ O ₅	
1 : 4,2 : 1,9 : 0,25	2,8 : 1	2,75	Норро
1 : 5,6 : 2,3 : 0,41	1 : 0	2,75	Nickel Plate
1 : 8,7 : 3,2 : 4,25	3,5 : 1	3	Серра-Бранка
1 : 9,6 : 3,5 : 0,45	1,3 : 1	3	Туркестанский хр.
1 : 11,9 : 4,6 : 3,57	1 : 1,7	2,8	Хюннеркobelь

Молекулярные отношения говорят о сложности и изменчивости состава арродита и заставляют рассматривать этот минерал как изоморфную смесь нескольких молекул различных фосфатов, что весьма обычно для этой группы соединений.

Для арроядита предлагается ряд формул, однако ни одна из них, повидимому, не отражает действительного состава минерала. Т. Эрикссон для арроядита из Норро приводит следующую формулу: $(\text{Na}_2, \text{Ca})\text{O} : (\text{Fe}, \text{Mn})\text{O} : \text{P}_2\text{O}_5 = 1 : 2 : 1$.

П. Квенсел (1937)¹ выводит формулу арроядита в виде $\text{R}_2\text{O} \cdot 5\text{RO} \cdot 2\text{P}_2\text{O}_5$, объясняя отклонения от этого соотношения окислением FeO в Fe_2O_3 . Общая формула, по П. Квенселу, — $\{[\text{Na}(\text{Fe}^{\text{II}}, \text{Mn}^{\text{II}})], \text{Fe}^{\text{III}}\}\text{PO}_4$. Для арроядита из Бразилии предлагается формула $4\text{R}_3^{\text{I}}\text{PO}_4 \cdot 9\text{R}_3^{\text{II}}(\text{PO}_4)_2$, где R^{I} — Na, а R^{II} — двухвалентные катионы.

Не вдаваясь в критику приводимых формул, отметим некоторую искусственность, присущую каждой. Повидимому, разгадку состава арроядита следует искать в определении компонентов изоморфной смеси, в виде которой надо представлять себе анализированные минералы. Этими компонентами могут быть и упомянутые выше $\text{R}_3^{\text{I}}\text{PO}_4$ — $\text{R}_3^{\text{II}}(\text{PO}_4)_2$, а также $\text{R}^{\text{I}}\text{R}^{\text{II}}(\text{PO}_4)$ — $\text{R}_3^{\text{II}}(\text{PO}_4)_2$. Последнее более вероятно, так как оба соединения известны в природе.

В таком случае анализированные минералы примут вид:

Норро	$2\text{Na}(\text{Mn}, \text{Fe})\text{PO}_4 \cdot (\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Mg}, \text{Ca})_3(\text{PO}_4)_2$
Nickel Plate	$2\text{Na}(\text{Mn}, \text{Fe})\text{PO}_4 \cdot 1,3(\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Ca}, \text{Mg})_3(\text{PO}_4)_2$
Серра-Бранка	$\text{Na}(\text{Mn}, \text{Fe})\text{PO}_4 \cdot (\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Ca})_3(\text{PO}_4)_2$
Туркестанский хр.	$2\text{Na}(\text{Mn}, \text{Fe})\text{PO}_4 \cdot 2,5(\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Mg})_3(\text{PO}_4)_2$
Хюннеркobelъ	$2\text{NaMnPO}_4 \cdot 3(\text{Fe}, \text{Ca}, \text{Mn})_3(\text{PO}_4)_2$

Таким образом, минералы группы арроядита-варулита представляют собою, повидимому, изоморфную смесь двух молекул типа натрофилита — $\text{Na}(\text{Mn}, \text{Fe})\text{PO}_4$ и графтонита — $(\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Ca})_3(\text{PO}_4)_2$, или натрофилита и магнофилита — $(\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Mg})_3(\text{PO}_4)_2$, что мы и встречаем в пегматитах Туркестанского хребта.

Последующее окисление FeO в Fe_2O_3 , часто сопровождающееся гидратацией, значительно усложняет состав минералов группы арроядита.

М. Л. Линдберг (1950) на основании данных рентгеноструктурного анализа объединяет под названием арроядита фосфаты из Серра-Бранка и Nickel Plate, минералы же из Норро и Хюннеркobelъ она предлагает назвать хюннеркobelитом.

С подобным нерациональным разделением, приводящим только к путанице, нельзя согласиться по двум причинам:

1. М. Л. Линдберг (1950) отождествляет исследованный ею арроядит из Серра-Бранка (образец Национального музея США) с арроядитом, описанным Жуймаресом, однако приведенные в работе оптические константы заставляют предположить, что это не один и тот же минерал, тем более, что анализ музейного образца отсутствует.

2. Минералы, отнесенные на основании сходства дебаеграммы к «хюннеркobelиту», так же как и арроядит Жуймареса, отличаются значительной степенью окисления FeO в Fe_2O_3 , в то время как минерал из Nickel Plate совсем не содержит Fe_2O_3 , что, повидимому, и послужило основной причиной различия констант решетки кристаллов исследованных минералов.

Из сказанного следует, что неопределенное и случайное название «хюннеркobelит» не должно быть узаконено в нашей литературе.

¹ П. Квенселом из Варутреска описан в 1937 г. минерал варулит, являющийся марганцевым аналогом гедденита, а не арроядита (прим. ред.).

Основным отличием арроядита из пегматитов Туркестанского хребта является высокое содержание в нем MgO , что характерно для всех фосфатов из указанного района.

Таким образом, описанный минерал является магниевой разновидностью арроядита (магноарроядит).

Следует отметить, что в арроядите имеются реликтовые включения трифилина, за счет которых, повидимому, спектрограмма показала присутствие лития (около 0,1%).

Парагенезис арроядита с трифилином и альбитом и образование им подобия реакционных кайм вокруг зерен альбита в трифилине подтверждает связь происхождения арроядита с процессом альбитизации.

Марганцевый штрэнгит $(Mn, Fe)PO_4 \cdot 2H_2O$ и манганконинкит $(Fe, Mn)PO_4 \cdot 3H_2O$

Минерал бледнокрасного и фиолетово-красного цвета, образующийся в виде почковидных выделений по трифилину и гетерозиту, был встречен ниже эрозионного среза мусковит-микроклиновой жилы.

Минерал имеет спайность в двух направлениях (в одном направлении слабую) и твердость 3,5. Под микроскопом минерал обнаружил своеобразный плеохроизм: Ng — бесцветный, Nm — фиолетовый, Np — голубой. Угасание прямое. Оптически положительный; $2V = 42^\circ$. Сильная дисперсия $\rho > \nu$. $Ng = 1,746 \pm 0,003$; $Nm = 1,710 \pm 0,003$; $Np = 1,708 \pm 0,003$. Плоскость оптических осей параллельна несовершенной спайности. Растворяется в кислотах, давая реакцию на P , Mn , Fe . В закрытой трубке выделяет много воды. Описанные признаки позволяют диагностировать минерал как марганцевый штрэнгит.

По А. Винчеллу (1949), оптические свойства Mn -штрэнгита таковы: $Ng = 1,750$; $Nm = 1,708$; $Np = 1,708$. Оптически положительный; плеохроизм аналогичен наблюдавшемуся нами; цвет фиолетово-красный; твердость 3—4. Спайность по (001) — совершенная, по (100) — несовершенная. Плоскость оптических осей (100).

Марганцевый штрэнгит и гетерозит подвергаются изменению, которое выражается в гидратации минерала и превращении его в глиноподобный рассыпчатый агрегат розовато-фиолетового и фиолетового цвета. Под микроскопом глиноподобный минерал — продукт изменения гетерозита и штрэнгита — обнаруживает тонкоагрегатное строение, в связи с чем его оптические свойства не могли быть определены с надлежащей точностью. $Nm = 1,68$ — $1,70$, плеохроизм трудно различимый в желтых тонах. Удельный вес (пикнометрически) 2,65. Перед паяльной трубкой минерал спекается в бурый шлак. В закрытой трубке выделяет много воды.

Химический анализ минерала, произведенный автором в лаборатории НИИП МГУ, позволяет отнести исследованный минерал к многочисленной и слабо изученной группе нормальных водных фосфатов железа и марганца. Данные анализа приводятся в табл. 9.

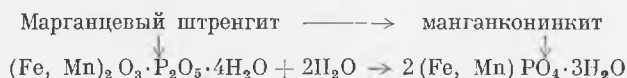
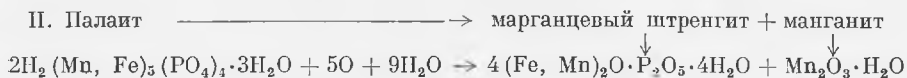
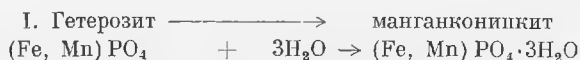
При пересчете получим формулу $(Fe, Mn)_2O_3 \cdot P_2O_5 \cdot 6H_2O$ или $(Fe, Mn)PO_4 \cdot 3H_2O$, если будем считать H_2O , выделяющуюся в интервале 60 — 110° , не входящей в решетку минерала.

В случае полной потери марганца, минерал приблизится к конинкиту — $FePO_4 \cdot 3H_2O$, $N = 1,58$ — $1,65$. Удельный вес 2,4.

Таблица 9

Компоненты	%	Молекул. колич.	Молекул. отнош.
FeO	Нет	—	—
Fe ₂ O ₃	33,62	210	1,07
Mn ₂ O ₃ *	2,73	28	
MgO	Следы	—	—
CaO	Нет	—	—
Na ₂ O	—	—	—
K ₂ O	—	—	—
P ₂ O ₅	31,44	222	1
H ₂ O ⁺	24,13	1347	6
H ₂ O ⁶⁰⁻¹¹⁰	7,98	443	—
Сумма	99,90	—	—

Конинкит, так же как и исследованный минерал, связан с зоной окисления.



Приведенной схемой объясняется также частый парагенезис манганита с марганцевым штрэнгитом.

В связи с тем, что название «гидрогетерозит» неприменимо к изученному минералу, так как под этим названием уже описан минерал, несходный с нашим, предлагается назвать продукт гипергенного изменения гетерозита и марганцевого штрэнгита — манганконинкитом.

Палаит (гюролит) $\text{H}_2(\text{Mn, Fe})_5(\text{PO}_4)_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

Красные полупрозрачные округлые выделения палаита были обнаружены в парагенезисе с трифилином и черным турмалином. Под микроскопом бесцветен (палаит) или слабо плеохроирует (гюролит). Оптически отрицательный, $2V = 82^\circ$ (определен по одной оси). $n_g = 1,658 \pm 0,002$; $n_m = 1,656 \pm 0,002$; $n_p = 1,649 \pm 0,002$. В закрытой трубке выделяет воду, дает ясные реакции на P, Fe, Mn, легко растворяется в кислотах. Прямым способом в минерале определено содержание H_2O 10%, что соответствует содержанию воды в палаите.

Палаит замещает трифилин, в свою очередь замещается марганцевым штрэнгитом с образованием обильных налетов и корочек манганита.

* Mn определялся в виде MnO_2 , степень окисления проверялась опытными анализами.

Вашегиит, гордонит, эвансит

Эти три редких водных фосфата алюминия были встречены в тесном парагенезисе в мусковитовой зоне мусковит-микроклиновых пегматитов в виде мелких минералов, окружающих гнезда трифилина, измененного до манганконинкита. Гнезда трифилина, в этом случае, обычно окружены альбит-мусковитовым агрегатом.

Вашегиит описан впервые по образцам из месторождения Вашеги (Словакия). Дельтером минералу приписывается теоретическая формула $4Al_2O_3 \cdot 3P_2O_5 \cdot 30H_2O$, А. Винчелл (1949) дает несколько другую формулу — $3Al_2O_3 \cdot 2P_2O_5 \pm 18H_2O$. Как видно из приведенных ниже анализов, взятых из литературы, состав вашегиита не всегда постоянен. Минерал, относимый нами к вашегииту, выполняет наружные части уполнянутых выше минералов, в основном заполненных эванситом.

Цвет описываемого минерала снежно-белый, блеск матовый, твердость около 3. Выделения его, в виде аморфных плотных корочек по стенкам минералов, хрупки и дают характерный раковистый излом. Удельный вес (определен в тяжелой жидкости) 1,90—1,92. Под микроскопом изотропен. Показатель преломления двух измеренных образцов оказался равным: в первом случае $N = 1,496 \pm 0,002$; во втором случае $N = 1,500 \pm 0,002$. Показатель преломления вашегиита по А. Винчеллу (3) равен 1,505. Удельный вес 1,98 и твердость 3—3,5.

Исследованный минерал неплавкий. При прокаливании в муфеле до 1200° слегка желтеет. Выполненный нами анализ вашегиита приведен в табл. 10.

Таблица 10

Компоненты	Туркестанский хр., А. Беус, 1948		Вашегиит из Вашеги, Дельтер, 1926		Теоретич. состав, по Дельтеру, 1926	
	%	молекул. колич.	%	молекул. колич.	%	молекул. колич.
Al ₂ O ₃	28,46	280	28,33	278	29,73	291
Fe ₂ O ₃	0,81	005	1,19	007	—	—
MgO	0,32	007	—	—	—	—
K ₂ O	—	—	0,16	002	—	—
Na ₂ O	—	—	0,05	001	—	—
P ₂ O ₅	31,95	222	31,32	220	30,99	218
H ₂ O ⁺	14,21	788	39,21	2176	39,28	2179
H ₂ O ⁶⁰⁻¹¹⁰	24,10	1337	—	—	—	—
Сумма	99,85	—	100,38	—	100	—

Молекулярные отношения анализированного минерала приводят к формуле, весьма близкой к указанной Дельтером, т. е. $4(Al, Fe)_2O_3 \cdot 3P_2O_5 \cdot 30H_2O$. Примесь магния в минерале, по видимому, указывает на присутствие небольших количеств гордонита — $MgO \cdot Al_2O_3 \cdot P_2O_5 \cdot 9H_2O$. Мелкий пластинчатый кристалл фосфата, принадлежащий, вероятно, гордониту, был обнаружен среди вашегиита при определении показателя преломления. Кристалл двуосный, положительный. Заметна

спайность по длинной оси кристалла. $N_g = 1,554 \pm 0,002$; $N_p = 1,536 \pm 0,002$; $2V$ около 80° .

Гордонит из Файрфильда (США, шт. Юта) имеет: $N_g = 1,558$; $N_m = 1,543$; $N_p = 1,534$; $2V = 76^\circ$.

В табл. 11 приведен пересчет произведенного анализа на вашегит и гордонит.

Таблица 11

	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	P ₂ O ₅	H ₂ O	
Молекул. отношения	{ 1,27 1 }		— 1	1 1	9,5 9	Вашегит 97% 4(Al, Fe) ₂ O ₃ · 3P ₂ O ₅ · 30H ₂ O Гордонит 3% MgO · Al ₂ O ₃ · P ₂ O ₅ · 9H ₂ O

Присутствие гордонита в пегматитах Туркестанского хребта отмечается у В. Лебедева (1937) и Ю. Арапова (1936), однако какого-либо описания этого минерала не приводится.

Э в а н с и т, как уже было упомянуто, выполняет центральную часть описанных миндалин, обычно составляя 0,9 их объема. Кроме этого, в той же зоне встречаются корочки и миндалины, целиком выполненные колломорфными образованиями эвансита. Минерал представляет собою опаловидное вещество, различно окрашенное в зависимости от содержания железа и, повидимому, воды.

Наблюдаются следующие модификации эвансита в зависимости от окраски:

- 1) почти бесцветный, слегка желтоватый, полупрозрачный, с характерной опалесценцией;
- 2) слабо зеленоватый, полупрозрачный, с заметной опалесценцией;
- 3) ярко-изумрудно-зеленый, полупрозрачный;
- 4) буровато-желтый, непрозрачный;
- 5) красно-бурый, непрозрачный;
- 6) черно-бурый, смолистый.

Нами был выполнен химический анализ слабо зеленоватой полупрозрачной разновидности и определено содержание железа во всех модификациях.

Результаты химического анализа сведены в табл. 12, где для сравнения даны анализы эвансита из различных месторождений по литературным данным.

Под микроскопом изотропный. Показатель преломления изменяется параллельно изменению цвета, повышаясь с увеличением содержания железа. Подобно показателю преломления, увеличивается и удельный вес минерала.

В табл. 13 приведены зависимости физических свойств минерала от содержания Fe₂O₃.

Эта таблица позволяет выделить железистую разновидность эвансита — ферро-эвансит, довольно сильно отличающуюся по своим свойствам от обычного алюмо-эвансита.

Пересчет произведенного химического анализа на эвансит и гордонит (табл. 14) хорошо укладывается в теоретические формулы этих минералов, хотя наблюдается весьма малый недостаток воды для эвансита.

Таблица 12

Компоненты	Туркестанский хр., зеленоватый, А. Беус, 1948		Гросс-Тресни (Слования), желтый, по Дельтеру, 1926		Айдахо, США, коричневый, по В. Шеллеру		Теоретич. состав, по Дельтеру, 1926	
	%	молекул. колич.	%	молекул. колич.	%	молекул. колич.	%	молекул. колич.
Al ₂ O ₃	35,51	349	38,05	375	34,48	340	39,8	390
Fe ₂ O ₃	3,18	020	1,92	012	5,49	034	—	—
MgO	1,12	027	Сл.	—	Сл.	—	—	—
CaO	0,11	002	0,23	004	4,32	007	—	—
P ₂ O ₅	19,81	139	18,48	130	19,14	135	18,3	129
H ₂ O ⁺	32,34	1776	41,29	2290	36,96	2051	41,9	2325
H ₂ O ⁶⁰⁻¹¹⁰	7,56	416						
Сумма	99,63	—	99,97	—	100,39	—	100	—
Уд. вес	1,87 (в тяж. жидк.)		1,937		1,89		—	

Таблица 13

Цвет минерала	Fe ₂ O ₃ , в %	Уд. вес	N
Бесцветный; Алабама, США	—	—	1,485
Почти бесцветный; Туркестанский хр.	0,92	1,85	1,464±0,002
Слабо окрашенный в желтовато-зеленоватый цвет; Туркестанский хр.	3,18	1,87	1,473±0,002
Измуродно-зеленый; Туркестанский хр.	4,62	1,93	1,492±0,002
Зеленый из Айдахо (В. Шеллер)	2,15	1,922—1,947	—
Буровато-желтый; Туркестанский хр.	7,28	1,95	—
Красно-бурый; Туркестанский хр.	10,13	3,20	—
Коричневый из Айдахо (В. Шеллер)	5,49	1,972—1,990	—
Темнокрасный из Айдахо (В. Шеллер)	6,60	1,990—2,016	—
Черно-бурый; Туркестанский хр.	15,80	2,30	—

Таблица 14

	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	P ₂ O ₅	H ₂ O	
Молекул. отношения	{ 3,1	—	1	1	17,5	Эвансит 88% 3(Al, Fe) ₂ O ₃ · P ₂ O ₅ · 17,5H ₂ O
	{ 1	—	1	1	9	Гордонит 12% MgO · Al ₂ O ₃ · P ₂ O ₅ · 9H ₂ O

Следует отметить, что потеря воды, повидимому, является признаком начавшегося выветривания минерала.

Ю. А. Араповым (1936) и В. И. Лебедевым в пегматитах Туркестанского хребта указывается (почти без описания) еще несколько редких фосфатов алюминия, определенных ими на основании оптических свойств. Эти находки подтвердить не удалось, хотя нахождение подобных фосфатов (цефаровичит, псевдовавеллит, ландезит) не исключено. Следует указать, что приведенные Ю. А. Араповым и В. И. Лебедевым данные совершенно недостаточны для точного диагностирования как ландезита, так и цефаровичита и псевдовавеллита.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- Арапов Ю. А. Фосфаты. Новые находки. Тр. Ломоносов. инст. АН СССР, VII, 1936.
- Беус А. А. Вертикальная зональность пегматитов на примере пегматитового поля Аксу-Пуштиру (Туркестанский хребет). ДАН СССР, т. LX, № 7, 1948.
- Винчелл А. Оптическая минералогия, 1949.
- Гинзбург А. И. Структуры минеральных агрегатов пегматитов литиевого типа. Тр. Мин. музея АН СССР, в. 1, 1949.
- Гинзбург А. И. О сиклерите. Там же, в. 2, 1950.
- Almeida S. C. и др. The Beryl-Tantalit-Cassiterit Pegmatites of Paraiba and Rio-Grande do Norte Northeastern Brasil. Econ. Geology, 1944.
- Doelter. C. Handbuch der Mineralchemie. 1914—1926.
- Lindberg M. L. Arrojadite, hünnerkobelite and graftonite. Am. Min., 1—2, 1950.
- Mason B. Some Fe-Mn phosphate minerals from the pegmatite at Hünnerkobel in Bavaria. Geol. Fören. Forhandl., Bd. 64, 1942.
- Quensel P. The Lithium-Manganese phosphates. Geol. Fören. Forhandl., Bd. 59, H. 1, 1937.