

УДК 553.641 : 553.061.12

ТИГРОВОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ АПАТИТА (АЛДАНСКИЙ ЩИТ)

БОЯРКО Г.Ю., АБАКУМОВА Л.Н.

Проведена типизация природных разновидностей руд с выделением апатит-доломитовых, апатит-мартит-силикатных, апатит-кальцитовых разновидностей. Обнаружена хорошо выраженная концентрационная зональность в зависимости от CO_2 как для петрогенных окислов, как и у микроэлементов. Делается вывод о метасоматическом характере оруденения, связанного с процессами Са, Mg и CO_2 -метасоматозов с ведущей ролью последнего.

Месторождение Тигровое расположено в 1 км к северо-западу от основного рудного тела Селигдарского месторождения апатита. Впервые апатитовая минерализация обнаружена здесь В.В. Карелиным в 1968 г. Начиная с 1975 г., на нем производятся поисково-съёмочные работы с применением колонкового бурения.

В тектоническом отношении Тигровое месторождение, как и Селигдарское, приурочено к узлу пересечения Юхтинского и Томмотского глубинных разломов, соответственно северо-западного и северо-восточного простирания. Юхтинская зона разломов для Тигрового месторождения — ведущая рудоконтролирующая структура.

В плане месторождение представляет собой серию крупных кулисообразных залегающих жильных тел, осложненных множеством поперечных мелких жил (фиг. 1). Залегание крупных жил северо-западное с крутым падением на северо-восток, мелких — субширотное, с падением на север. Мощность жильных тел от 10 до 100 м, протяженность от 100 до 500 м. В местах пересечения жил различных направлений образуются раздувы. В целом месторождение Тигровое представляет собой типичный штокверк. В южной части месторождения раздувы слились в сплошной рудный столб, изометричный в плане. Он разбурен до глубины 400—500 м.

Вмещающие породы — преимущественно биотитовые, реже амфиболитовые, пироксен-амфиболовые гнейсы и кристаллические сланцы архейского возраста. В пределах месторождения вмещающие породы условно отмечены к федоровской свите без расчленения на горизонты.

В южной части месторождения Тигровое апатитсодержащие метасоматиты перекрыты терригенно-осадочными породами юдомской свиты (нижний кембрий), которые залегают с явным угловым несогласием на рудном теле и архейском кристаллическом фундаменте.

Как породы архейского фундамента, так и платформенного чехла прорваны по разрывным нарушениям дайками щелочного состава мезозойского магматического комплекса. Это приводит к разубоживанию руд и уменьшению коэффициента рудоносности.

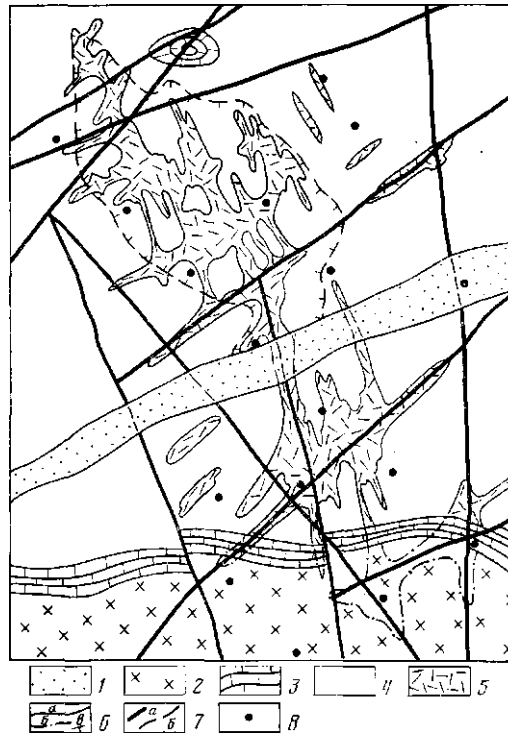
Типы руд¹

Среди руд выделяются следующие минералогические разновидности (табл. 1): апатит-мартит-силикатные (41,8% общего объема руд), апатит-доломитовые (38,0%), апатит-кальцитовые (20,8%).

По имеющимся данным опробования на P_2O_5 (3494 пробы пород и руд) и петрогенные окислы MgO, Fe_2O_3 , Co_2 (909 проб рудных образований) построены кривые распределения по содержаниям (фиг. 2). Распределение P_2O_5 определяется наличием только двух образований: рудных и

¹ Апатит-карбонатные и другие апатитсодержащие породы описаны под термином «руды», которыми они потенциально являются.

Фиг. 1. Геологическая схема Тигрового месторождения апатита
 1 — четвертичные аллювиальные отложения (Q_{III-IV}); 2 — пластовые интрузии мезозойских сиенит-порфиоров в пределах платформенного чехла; 3 — терригенно-карбонатные осадочные породы подошвы платформенного чехла, юдомская свита; 4 — архейские кристаллические породы фундамента (федоровской свиты непгроской серии — ARfd); 5 — апатит-карбонатные метасоматиты; 6 — геологические контуры руд, выходящие на дневную поверхность (а) и перекрытые более молодыми породами (б), в — контур комплексной аномалии CeO₂ и F по данным рентгено-радиометрической и нейтронно-активационной съемок по вторичным ореолам рассеяния; 7 — тектонические нарушения, прослеженные (а) и предполагаемые (б); 8 — точки заложения скважин колонкового бурения



измененных вмещающих пород. Имеющаяся на Селигдаре формация дезинтегрированных руд, обогащенных апатитом, и дающая на гистограмме пик в области 8—14% P₂O₅, на Тигровом не проявлена. По графикам

CO₂ и Fe₂O₃ отбиваются апатит-мартиит-силикатные и апатит-карбонатные, а по MgO четко различаются все разновидности.

Статистический анализ петрогенных окислов (табл. 2) выявил их небольшую изменчивость и преимущественную согласованность с нормальным законом распределения. Малая изменчивость показывает относительную однородность состава руд в пределах выделенных разновидностей.

Руды представлены неравномерно-зернистыми породами от мелко- до гигантозернистой текстуры, массивной, прерывисто-полосчатой, пятнистой и пегматоидной текстуры. Окраска руд весьма пестрая: от светлой серо-розовой до темно-красной, иногда зеленовато-черного, бурого или светло-бурого цвета.

Околорудные изменения проявляются в виде флогопитизации, оталькования, тремолитизации. Как правило, все эти минералы частично или полностью замещены хлоритом, реже серпентином и эпидотом. При этом вокруг рудных тел образуются ореолы преимущественно хлоритовых пород мощностью от одного до десятков метров. По контакту с рудами наблюдаются почти мономинеральные хлоритовые разности с постепенным уменьшением содержания минерала при удалении от рудного тела.

Апатит-доломитовые руды слагают основную массу рудных тел — преимущественно центральные части крупных жил. Макроскопически это плотные породы с массивной текстурой. Часто руды имеют пятнистый облик за счет порфиробластов апатита на фоне доломита, реже полосчатую текстуру. В скв. 218 в интервале брекчирования в жиле апатит-доломитовых руд встречены тонкополосчатые «аргиллиты», трактуемые на Селигдарском месторождении как реликты первично-осадочных алевролитовых и пелитовых пород нижнепротерозойского возраста [9]. Наблюдения авторов говорят о тектонической природе таких образований.

Структура руд порфиробластовая (в порфиробластах — апатит-мартиит), основную массу слагает доломит.

Таблица 1

Классификация основных разновидностей руд месторождения Тигровое

Геолого-минералогические типы и разновидности		Химический состав, \ac.%					
тип и распространенность, %	разновидность и распространенность, %	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	MgO	CO ₂	CaO	Н. о.
Апатит-мартит-карбонатный, 100	Апатит-мартит-силикатная, 41,8	12,13	8,97	6,76	7,26	23,00	30,34
	Апатит-доломитовая, 38,0	4,66	2,55	17,52	31,27	25,45	4,17
	Апатит-кальцитовая, 20,2	5,46	2,85	3,03	30,74	44,18	8,92
Руда среднего состава		7,94	5,29	10,09	21,12	28,21	14,68

Примечание. Н. о. — нерастворимый остаток в табл. 1—3, 5.

Таблица 2

Статистические оценки параметров распределения для руд и пород месторождения Тигровое и проверка гипотезы о нормальном законе

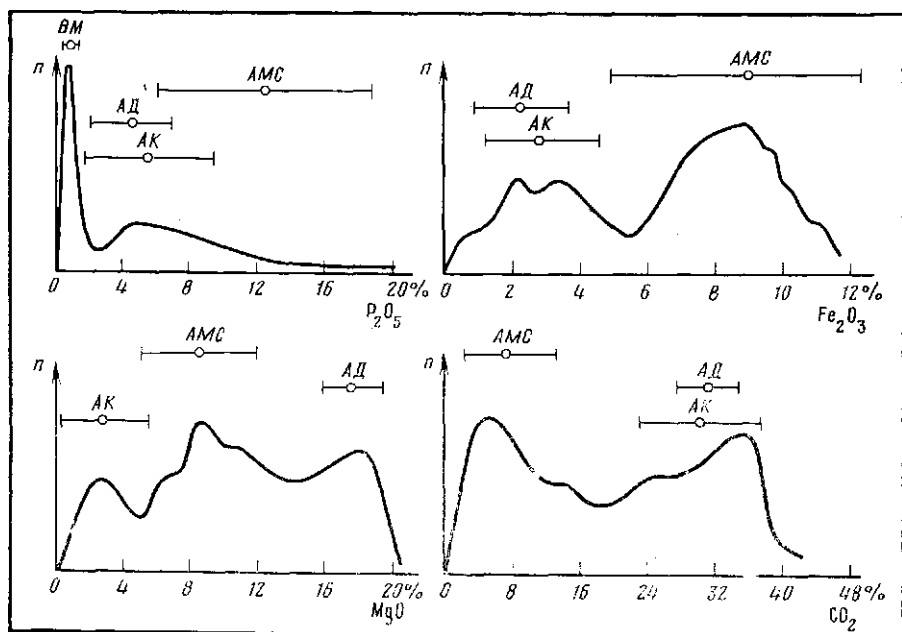
Компонент	<i>c</i>	<i>D</i>	<i>S</i>	<i>V</i>	<i>A</i>	<i>E</i>	Результат проверки
проб)							
P ₂ O ₅	0,70	0,299	0,576	78	0,294	6,097	
Fe ₂ O ₃	8,51	3,851	1,962	23	—0,152	0,778	
MgO	10,12	126,053	11,227	111	4,624	25,284	
CO ₂	2,26	4,561	2,136	95	1,112	0,075	
CaO	5,16	10,617	3,258	63	0,164	—0,626	
Н. о.	70,48	108,495	10,416	15	—0,871	1,548	—
<i>Апатит-силикатные руды (50 проб)</i>							
P ₂ O ₅	12,13	44,140	6,644	55	0,199	—0,880	—
Fe ₂ O ₃	8,97	19,211	4,363	49	1,676	3,419	—
MgO	8,76	20,750	4,555	52	0,966	0,675	—
CO ₂	7,26	40,397	6,356	88	2,614	7,275	—
CaO	23,00	153,879	12,405	54	—0,291	—0,534	—
Н. о.	30,34	253,383	15,918	52	0,616	0,334	—
<i>Апатит-доломитовые руды (50 проб)</i>							
P ₂ O ₅	4,64	6,017	2,453	53	0,517	—0,525	—
Fe ₂ O ₃	2,55	2,051	1,432	56	0,792	—0,339	—
MgO	17,52	3,135	1,771	10	—0,057	—0,878	—
CO ₂	31,27	14,174	3,765	12	0,868	1,152	—
CaO	25,45	9,806	3,131	12	0,222	—0,7	—
Н. о.	4,17	5,711	2,389	57	1,413	2,401	—
<i>Апатит-кальцитовые руды (50 проб)</i>							
P ₂ O ₅	5,46	15,805	3,976	73	1,805	2,634	
Fe ₂ O ₃	2,85	3,082	1,756	61	1,164	0,766	
MgO	3,03	8,138	2,853	94	1,766	3,035	
CO ₂	30,74	39,766	6,306	20	—0,487	—0,941	
CaO	44,18	54,147	7,358	17	—1,113	0,836	
Н. о.	8,92	43,832	6,620	74	1,365	1,327	

Примечание. *C* — среднее арифметическое, *D* — дисперсия, *S* — среднеквадратичное отклонение, *V* — коэффициент вариации, *A* — асимметрия, *E* — эксцесс. Оценка гипотезы нормального распределения выполнена по критерию асимметрии и эксцесса. «+» — гипотеза принимается, «—» — отклоняется.

Минеральный состав руд довольно простой. Главные минералы (%) — апатит (10—20), доломит (50—80), мартит (5—7); второстепенные — кальцит (5—6), флогопит (2—4), тальк (1—10), тремолит (1—3), кварц (5—6), ангидрит (1—2), гематит (5—10), вторичные — хлорит, серпентин, серицит, гипс.

По химическому составу апатит-доломитовые руды месторождения Тигровое идентичны соответствующей разновидности на Селигдаре.

Апатит-мартит-силикатные руды слагают зальбандовые части крупных жильных тел, оторачивая апатит-доломитовые, и являются продуктом биметасоматоза между последними и вмещающими породами архея.



Фиг. 2. Вариационные кривые распределения P_2O_5 , Fe_2O_3 , MgO , CO_2 . Вертикальный масштаб графиков произволен ввиду разного количества имеющихся анализов. Доверительные интервалы распределения по разновидности руд и пород: ВМ — вмещающие архейские породы; АМС — апатит-мартит-силикатные, АД — апатит-доломитовые, АК — апатит-кальцитовые руды

Изредка встречаются мелкие жильные тела, сложенные нацело апатит-мартит-силикатными рудами. Структура их от средне- до гигантозернистой. Текстура массивная, пятнистая из-за окраски минералов, слагающих руды. Иногда наблюдаются разности пегматоидного облика.

Минеральный состав этих руд очень пестрый с резкими колебаниями содержаний отдельных минералов. Главные (%) — апатит (10—90), форстерит, полностью замещенный серпентином (10—90), мартит (5—30), кальцит (5—50), флогопит (5—20); второстепенные — ангидрит (2—5), диопсид, замещенный серпентином (1—5), тремолит (1—2), тальк {1—5}; вторичные — хлорит, серпентин, лейкоксен; аксессуарные — шпинель, сфен и др.

Апатит-мартит-силикатные руды не выделены на Селигдаре в отдельную разновидность из-за слабой распространенности (1—2%) и малого размера участков их развития. На месторождении Тигровое они ведущие (41,8%), для них характерно высокое содержание P_2O_5 , Fe_2O_3 , н. о., низкое — CO_2 .

Апатит-кальцитовые руды образуют маломощные, секущие жилы, хорошо отбивающиеся по химическому составу среди остальных разновидностей руд, реже самостоятельные жильные тела. Наблюдается пространственная приуроченность их к мезозойским дайкам щелочного состава. Не исключено, что образование апатит-кальцитовых руд шло за счет раздоломичивания апатит-доломитовых руд по контактам с этими дайками. Аналогичный процесс кальцитизации доломитов описан О. А. Каххаровым [5].

Макроскопически руды представляют собой плотные породы с массивной текстурой желтовато-серого цвета. Апатит не выделяется на общем фоне руды за счет своей светло-серой окраски.

Минеральный состав апатит-кальцитовых руд однообразен (%): апатит (10—15), кальцит (80—90), мартит (до 5). В них нет находок флогопита, ангидрита, гематита и других второстепенных минералов, типичных для более ранних разновидностей руд, что указывает на наложенный характер образования апатит-кальцитовых руд.

По химическому составу апатит-кальцитовые руды схожи с аналогичной разновидностью на Селигдарском месторождении, за исключением магния,— в рудах месторождения Тигровое наблюдается небольшая примесь доломита, в то время как в селигдарских разновидностях он практически отсутствует.

Апатит-тремолитовые руды встречаются во всех скважинах в виде единичных прожилков во вмещающих породах мощностью 5—10 см, иногда приуроченных к зальбандам рудных тел карбонатного состава. Скорее всего это фациальная разновидность апатит-мартит-силикатных руд, сильно обогащенных тремолитом. Руды состоят из апатита (10—15%) и тремолита (80%), иногда тремолит замещается карбонатом, хлоритом и эпидотом. Цвет руды светло-зеленый, не отличающийся от хлоритизированных вмещающих пород.

Апатит-тальковые руды, как и апатит-тремолитовые, фациальная разновидность апатит-мартит-силикатных руд. Они образуют, вероятно, гнездообразные скопления размером от 0,5 до 3—5 м (по керну скважин) в поперечнике. Породы плотного сложения светло-зеленого и светло-желтого цвета на 80% представлены тальком. Содержание апатита — 5—10%. присутствуют также мартит, тремолит, доломит.

Апатит-кварцевые руды встречаются в единичных случаях вблизи к близповерхностной части месторождения, преимущественно на южном фланге. Мощность зон по разрыву скважин от 0,5 до 2,3 м. Образованы они за счет выщелачивания карбонатных руд с накоплением кварца и апатита. Внешне это плотные, иногда ноздреватые пористые породы темно-вишневого цвета, часто брекчиевой текстуры: обломки апатита в них сцементированы гематит-карбонат-кварцевым цементом. Скорее всего апатит-кварцевые руды — это продукт литификации и окварцевания остаточных кор выветривания апатитового месторождения [4].

Минеральный состав руд следующий (%): кварц (40—70), апатит (10—20), гематит (5—15), доломит (10—15), мартит (1—2), хлорит (5—10).

В связи с тем что мощность отдельных разновидностей по разрезу скважин редко превышает 5—10 м, выделить тела разных руд для селективной отработки не представляется возможным. Поэтому наиболее представительна для технологических исследований будет руда среднего состава (табл. 1), схожая по составу с апатит-мартит-кварц-доломитовой разновидностью руд Селигдара.

Характеристика апатита

Во всех типах руд апатит образует кристаллы размером от 0,1 до 10—15 см в поперечнике и от 1—2 до 30 см в длину. Кристаллы апатита в основном дипирамидально-призматического габитуса с закругленными ребрами и меандровым рельефом граней, как и на Селигдаре [7]. Типоморфной особенностью апатита является его своеобразная окраска. Минерал в большинстве случаев окрашен в светло-коричневый, коричневый, сургучный, вишневый цвета, обусловленные механической примесью гематита.

В апатите наблюдаются твердые включения двух типов: 1) полосы, черточки, скопления точек, ориентированных по удлинению кристаллов, представленных микровключениями диопсида, гематита и их совместных сростков; 2) скопления точек, мелких пятен гематита, приуроченных к разнонаправленным случайным трещинам и вдоль контакта зерен апатита и вмещающих его минералов.

Кроме сургучного апатита имеются находки белого, светло-серого зеленовато-серого и зеленого цветов.

Белый и светло-серый апатит характерен для апатит-кальцитовых руд (скв. 19, 20, 214, 602) и обусловлен сильной насыщенностью их микровключениями кальцита, равномерно распределенных по объему кристаллов и, вероятно, захваченных в процессе кристаллизации.

Химический состав апатитов месторождения Тигровое, %

Компонент													
SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	F	CO ₂	H ₂ O ⁺
1,40	0,02	0,05	0,36	0,05	0,15	53,46	0,20	0,14	0,01	39,30	2,60	1,10	1,02
1,00	0,12	0,21	0,10	0,05	0,15	53,31	0,20	0,30	0,02	40,30	3,05	0,86	0,31

Таблица 4

Свойства апатитов месторождения Тигровое

Порода	<i>N_o</i>		<i>N_o—N_e</i>	<i>d</i> , г/см ³	<i>a₀</i> , Å	<i>c₀</i> , Å
Апатит-доломитовая	1,637	1,633	0,004	3,160	9,399	6,887
»	1,639	1,637	0,002	3,156	9,404	6,884
»	1,639	1,637	0,002	—	9,411	6,887
»	1,639	1,636	0,003	3,160	9,411	6,887
»	1,639	1,635	0,004	—	9,411	6,887
»	1,639	1,636	0,003	3,159	9,408	6,882
»	1,639	1,635	0,004	—	—	—
»	1,639	1,635	0,004	3,157	9,408	6,887
»	1,640	1,636	0,004	3,159	9,411	6,885
»	1,640	1,637	0,003	3,159	9,411	6,887
»	1,538	1,635	0,003	—	9,414	6,892
»	1,639	1,637	0,002	3,159	9,411	6,887
»	1,639	1,636	0,003	—	—	—
»	1,640	1,636	0,004	3,164	—	—
»	1,636	1,633	0,003	3,161	9,399	6,884
»	1,641	1,637	0,004	—	—	—
»	1,641	1,637	0,004	—	—	—
Апатит-кальцитовая	1,641	1,637	0,004	—	—	—
Апатит-тремолитовая	1,639	1,636	0,003	—	9,404	6,883
Апатит-кварцевая	—	—	—	—	9,404	6,884

Зеленовато-серый апатит встречается изредка в обогащенных хлоритом разностях руд (скв. 200, 201, 221, 216). Этот цвет — результат насыщения апатита по разнонаправленным трещинам чешуйками более позднего хлорита.

Апатит зеленого цвета более поздний, встречается в зонах дробления, милонитизации, образуясь при перекристаллизации апатита более ранних генераций с очищением от механических примесей других минералов. Встречается зеленый апатит редко — в виде единичных зерен.

По химическому составу апатиты месторождения Тигровое относятся к почти чистым фторапатитам с небольшой примесью гидроксил- и карбонат-ионов (табл. 3).

Показатели преломления апатита измерены обычным иммерсионным методом (табл. 4). Для чистого фторапатита показатели преломления имеют значения: $N_o = 1,633$, $N_e = 1,629$ [4], у апатита Тигрового месторождения $iV_o = 1,636—1,637$, $N_e = 1,632—1,637$, т. е. немного больше, чем у чистого фторапатита, вероятно, это связано с присутствием в апатите стронция и редких земель.

Плотность апатита измерена в термоградиентной трубке (табл. 4). Она варьирует в пределах $3,156—3,164$ г/см³. Для чистого фторапатита, по данным З. В. Васильевой [3], плотность $3,19$ г/см³. Уменьшение плотности в изучаемых апатитах объясняется наличием множества включений гематита, карбоната и кварца.

Параметры элементарной ячейки апатита приведены в табл. 4. Для всех апатитов они колеблются в пределах: $a_0 = 9,399—9,414$ Å, $c_0 = 6,882—6,887$ Å. У апатитов месторождения Тигровое параметры ячейки несколько выше, чем у чистого фторапатита ($a_0 = 9,37$ Å, $c_0 = 6,88$ Å), видимо, это связано с постоянным присутствием в апатите изоморфных примесей.

**Результаты математической обработки
химических анализов руд**

По данным химических анализов на P_2O_5 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , н.о. (76 проб), Al_2O_3 , Na_2O , K_2O , SO_3 (28 проб) было произведено изучение нелинейных парных регрессий этих петрогенных компонентов' как функций от P_2O_5 и CO_2 . Расчеты полиномов 5-й степени производились методом наименьших квадратов. Результаты вычислений и графики функций показаны в табл. 5 и на фиг. 3.

Концентрационная зависимость дает картину дифференциации сопутствующих и независимых компонентов по отношению к ведущему (рудному) элементу, при этом исключается влияние неоднородностей химического состава среды. При рассмотрении полиминерального агрегата, состав которого локально неоднороден, закономерности химизма породы затушуются произвольными вариациями содержаний минералов. При нормировании же анализируемых компонентов на концентрацию ведущего элемента происходит четкая дифференциация их на сопутствующие, независимые и вытесняемые элементы. В соответствии с химическим составом меняется и минеральный. Поэтому следует учесть, что если в полиминеральном агрегате график функции распределения компонента есть следствие дифференциации флюидов и геохимии среды, то в мономинеральной породе — следствие химизма лишь одного минерала, где имеет место прямое вхождение одних элементов в кристаллическую решетку и полное вытеснение остальных. Таким образом, в гео* химическом аспекте внешнюю «субпородную» и внутреннюю «субминеральную» области следует рассматривать отдельно, определив за границу содержание 50% ведущего минерала (21% P_2O_5 для апатита и 25% CO_2 для карбонатов).

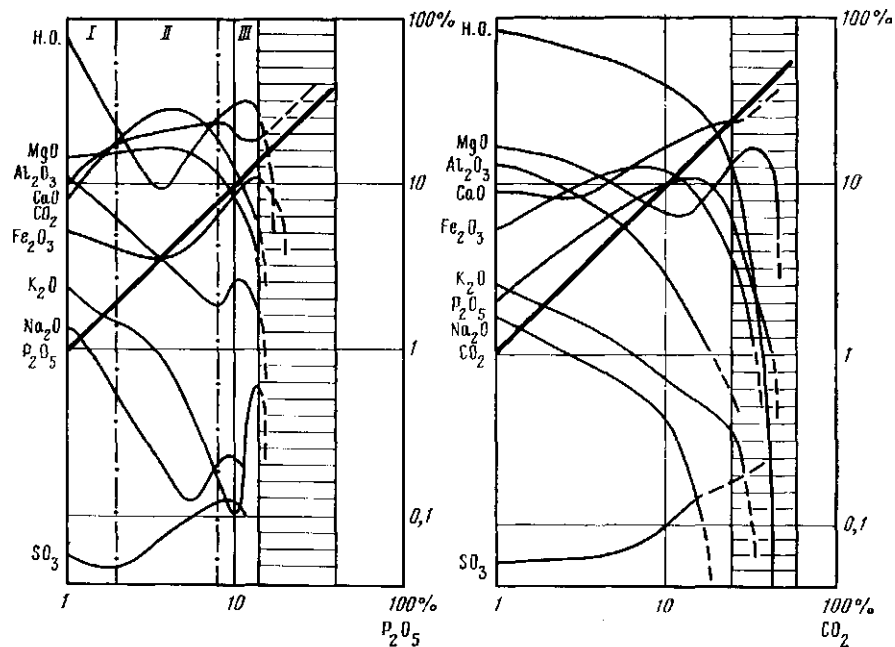
При рассмотрении в целом полученных зависимостей следует отметить, что ведущим фактором процесса образования апатит-карбонатных метасоматитов является углекислота, а не фосфор, что отчетливо наблюдается на фиг. 3. Здесь кривые графиков большинства петрогенных компонентов при аргументе CO_2 имеют всего по одной критической точке

Таблица 5

**Каталог уравнений криволинейной регрессии петрогенных окислов
как функций от P_2O_5 и CO_2 вида $Y = A_0 + A_1X + A_2X^2 + \dots + A_nX^n$**

Функция	Полиномиальный коэффициент					Коэффициент вариации
	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	
Аргумент P_2O_5						
Al_2O_3	12,45673	-3,50107	•0,38929	-0,01372	-	62
Na_2O	1,56329	-0,62696	0,08598	-0,00149	-	123
K_2O	2,52646	-3,51146	0,02693	-	-	87
SO_3	0,10966	-0,03571	0,00693	-0,00032	-	41
Fe_2O_3	6,78440	-1,97352	0,36325	-0,01376	-	64
MgO	13,05766	2,24402	-0,42286	0,01593	-	35
CO_2	5,98151	9,33918	-1,28859	0,04454	-	53
н. о.	79,57777	-42,40423	8,45238	-0,61725	0,01495	79
CaO	6,04926	5,97795	-0,67081	0,02209	-	36
Аргумент CO_2						
Al_2O_3	13,43312	-1,63437	0,07140	-0,00099	-	29
Na_2O	1,19961	-0,09738	0,00183	-	-	127
K_2O	3,50336	-0,76442	0,06240	-0,00205	0,00002	42
SO_3	0,11069	-0,02222	0,00303	-0,00011	0,00001	35
P_2O_5	0,57604	1,56879	-0,07607	0,00093	-	59
Fe_2O_3	6,71566	1,35992	-0,09869	0,00160	-	39
MgO	18,52432	-2,38768	0,14096	-0,00211	-	29
н. о.	71,85037	-3,53721	0,043664	-	-	33
CaO	3,38072	1,81263	-0,03879	-	-	25

Примечание. Содержания признаков в мас.%.



Фиг. 3. Графики кривых функциональной зависимости содержаний петрогенных окислов от концентраций P_2O_5 и CO_2 в рудах. Масштаб логарифмический. Горизонтальная штриховка — содержание апатита или карбоната $> 50\%$. I—III — зоны: I — вмещающих пород, II — апатит-карбонатных руд, III — апатит-силикатных

(перегиба), в то время как при аргументе P_2O_5 у всех признаков их имеется несколько (максимумы, минимумы, точки перегиба).

Увеличение содержания углекислоты сопровождается закономерным и пропорциональным уменьшением содержаний большинства петрогенных компонентов (H.o., Al_2O_3 , Na_2O , K_2O). По темпу накопления они являются деконцентрирующимися по отношению к аргументу [6]. Фосфор и железо соконцентрируются с углекислотой лишь в интервале 0—15% CO_2 (обстановка фаций апатит-силикатных руд и околорудных пород). В интервале же свыше 15% CO_2 (условия апатит-карбонатной фации) они уже деконцентрируются. Эти компоненты на ранних этапах достигли предела насыщения и при продолжении прогрессивного углекислого метасоматоза становятся уже избыточными, подвергаются выносу. По последовательности точек перегиба кривых деконцентрирующихся признаков можно составить ряд концентрационной зональности апатит-карбонатных метасоматитов по углекислоте от внешних зон к внутренней — Al_2O_3 , Na_2O , Fe_2O_3 , P_2O_5 , H.o., K_2O . По абсолютным значениям этих компонентов на фоне неоднократного распределения CO_2 в породах выявленная химическая зональность апатит-карбонатных метасоматитов выражена нечетко, а в случае ограниченного количества исходных данных вообще не видна.

Отдельные окислы — CaO и SO_3 — в фации околорудных пород независимы, а начиная с содержания CO_2 5—8% и выше, соконцентрируются с аргументом. Это обусловлено прямым входением кальция в состав карбонатов, отмечаемых только в рудных образованиях, а в случае серного ангидрита — тесным пространственным сонахождением сульфатов с карбонатами. Сложный же график кривой CaO в фации апатит-карбонатных руд есть результат сложения двух независимых функций распределения от содержаний минералов — концентраторов кальция: апатита $CaO' = f(P_2O_5)$ и карбонатов $CaO'' = f(CO_2)$. Если бы в породе отсутствовал апатит, то график $CaO = f(CO_2)$ был бы прямолинеен. Кривая распределения магния характеризуется минимумом в области 8—15% CO_2 .

Сложный вид графиков кривых функций при аргументе P_2O_5 предопределяет разделение субпородной области на три зоны. По своему составу они отвечают: I — околорудным породам, II — апатит-карбонатным рудам, III — апатит-силикатным рудам. В первой зоне сконцентрируются по отношению к аргументу CaO и CO_2 , деконцентрируются —

Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , Na_2O , SO_3 . Это — следствие уменьшения содержаний силикатных минералов при увеличении интенсивности апатит-карбонатного метасоматоза. Только магний в первой зоне остается независимым признаком. В интервале II и III зон для всех петрогенных компонентов характерно наличие минимума или максимума в одной из зон при инверсии этого экстремума в другой. Во второй зоне максимальные значения имеют CO_2 , CaO, MgO, SO_3 , минимальные — н.о., Fe_2O_3 , Al_2O_3 , Na_2O . В зоне III максимумы — у н.о., Fe_2O_3 , Al_2O_3 , Na_2O , минимум у CaO. Отсутствие более простых закономерностей изменения химического состава как функций от P_2O_5 обусловлено тем, что наиболее богатые апатит-силикатные руды — это промежуточная контактовая фация между апатит-карбонатными рудами и вмещающими архейскими породами, и она не является конечным продуктом метасоматоза. При рассмотрении же концентрационной зональности по фосфору конечный продукт метасоматоза — апатит-доломитовые руды — отвечает области зоны II. Если зоны II и III поменять местами, вид кривых графиков был бы более упорядочен.

О генезисе месторождения Тигровое

В отличие от Селигдара, для которого существует множество теорий образования, для Тигрового в связи с его более простым геологическим строением этот вопрос менее обширен. Так, для месторождения Тигровое полностью неприемлемы гипотезы о грабене, грабен-синклинали, трубке взрыва. Тигровое представляет собой типичный штокверк, образованный двумя системами жил, а увеличивающийся с глубиной коэффициент рудоносности однозначно говорит о восходящем характере процесса рудообразования. Минералогические ассоциации основных разновидностей руд весьма постоянны и не отличаются от таких же парагенезисов, встречающихся в виде фрагментов на месторождениях флогопита и железа Центрально-Алданского района. В целом апатит-карбонатные метасоматиты Тигрового месторождения, как и Селигдара, являются следствием суммы процессов Ca—Mg- и CO_2 -метасоматозов с ведущей ролью последнего. Первичный субстрат, подвергшийся замещению, это скорее всего существенно магнезиальные силикатные породы. Это видно по концентрационной зональности от CO_2 , по устойчивости содержаний MgO для всего перехода от вмещающих силикатных архейских пород до апатит-карбонатных руд. Это свидетельствует о слабой подвижности MgO и одновременно о его высокой концентрации в субстрате. Этому условию из силикатных пород удовлетворяют ортоамфиболиты, характеризующиеся также повышенным содержанием P_2O_5 (до 2-5%).

Конечный продукт процессов Ca—Mg- и CO_2 -метасоматозов — это апатит-доломитовые руды, слагающие центральные и глубинные части жильных тел месторождения Тигровое. Во фронтальных зонах, являясь промежуточным продуктом биметасоматоза между апатит-доломитовыми рудами и вмещающими архейскими породами, находятся апатит-силикатные руды, наиболее богатые P_2O_5 . Набор магнезиальных минералов этой разновидности: флогопит, тремолит, форстерит (замещен серпентином), диопсид, шпинель, тальк и ассоциации с магнетитом (мартитом), апатитом и кальцитом — представляет собой обычный парагенезис магнезиальных скарнов [8]. Соответственно температурные условия углекислого метасоматоза будут составлять 450—600° С, что подтверждается для месторождения Тигровое термодинамическими расчетами М.А. Богомолова [1] — свыше 410° С и 0,83 X_{CO_2} . Методом массовой гомогенизации и декрепитации апатита, доломита, кальцита Тигрового получены температуры в интервале 490—610° С. Анализ отходя-

щих газов в этом интервале температур на CO_2 и H_2O^2 показал, что они полностью состоят из углекислого газа при отсутствии воды в пределах точности измерений.

В то же время наличие парагенезисов с хлоритом, эпидотом, серпентином не увязывается с вышеописанными высокотемпературными минералогическими ассоциациями, а широкое развитие хлоритизации в околорудном пространстве неоднократно приводилось в довод низкотемпературных условий для всего процесса оруденения полностью.

На месторождении Тигровое встречены участки совместного развития агрегатов талька и серпентина, что указывает на весьма жесткие термодинамические параметры процесса серпентинизации-хлоритизации: $320\text{—}410^\circ\text{C}$ и X_{CO_2} менее 0,005 [2]. Методом массовой гомогенизации и декрепитации для хлорита и эпидота получены температуры $270\text{—}350^\circ\text{C}$.

Резкое отличие термодинамических условий Ca—Mg- и CO_2 -метасоматозов от более позднего процесса хлоритизации-серпентинизации наводит на мысль лишь о пространственном совпадении этих образований в пределах месторождений, как следствие использования флюидами различного генезиса одних и тех же транзисторных каналов. Скорее всего хлорит-серпентиновые метасоматиты являются продуктом диафореза зеленосланцевой ступени, широко проявившегося в пределах зон глубинных разломов и генетически не связанного с апатит-карбонатными метасоматитами.

Выводы

1. Тигровое месторождение апатита представляет собой типичный штокверк, образованный двумя системами жил северо-восточного и северо-западного простираний.

2. Руды представлены единым апатит-карбонатным минералогическим типом, делящимся на три разновидности: апатит-доломитовую, апатит-мартит-силикатную, апатит-кальцитовую. Встречаются также фрагменты апатит-тремолитовых, апатит-тальковых и апатит-кварцевых руд.

3. Минеральный состав руд и характеристики минералов месторождения Тигровое мало чем отличаются от аналогичных парагенезисов Селигдара и представляют собой единый тип апатит-карбонатных метасоматозов, являющихся результатом процесса Ca—Mg- и CO_2 -метасоматозов с ведущей ролью последнего.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богомолов М.А. Термодинамические условия рудообразования Селигдарского месторождения апатита.— В сб.: Апатиты Алданского щита. Якутск, 1977, с. 20—32.
2. Булах А.Г. Основные физико-химические особенности процессов формирования карбонатитов в массивах щелочно-ультраосновной формации.— Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1979, вып. 2, с. 154—164.
3. Васильева З.В. Минералогические особенности и химический состав апатита.— В кн.: Апатиты. М.: Наука, с. 31—59.
4. Герасимов Е.К., Матухин Р.Г., Суховерхова М.В. Апатитоносная формация коры выветривания Алданского щита.— Сов. геология, 1978, № 4, с. 112—119.
5. Каххаров О.А. О времени и условиях кальцитизации доломитов.— Узб. геол. журн., 1980, № 1, с. 47—51.
6. Плющев Е.В., Ушаков О.П., Шатов В.В., Беляев Г.М., Методика изучения гидротермально-метасоматических образований. Л.: Недра, 1981, с. 191.
7. Смирнов Ф.Л., Маршинцев В.К., Москвитина А.В., Усков М.Н. Типоморфные особенности апатита из месторождений и проявлений Алдана.— В сб.: Геохимия фосфора и особенности минералогии апатита. Якутск, 1976, с. 5—31.
8. Шабынин Л.И. Формация магниезальных скарнов. М.: Недра, 1973, 213 с.
9. Эптин А.Р., Белоусов В.М., Галкин Г.Ф. Новые данные по геологии Селигдарского месторождения апатита.— В сб.: Апатиты Алданского щита. Якутск, 1977, с. 5—19.

ПГО «Якутскгеология»
Ленинградский государственный
университет

Поступила в редакцию
1. II. 1984

² Анализ газов, массовая гомогенизация и декрепитация образцов минералов выполнены на кафедре кинетики химических процессов Томского политехнического института.