

О. В. КАРПОВА

ТУРМАЛИН ИЗ РАЙОНА РАЗВИТИЯ ОСНОВНЫХ ПОРОД
НА ЗАПАДНОМ СКЛОНЕ ЮЖНОГО УРАЛА

На западном склоне Южного Урала в районе развития Копанской и Маткальской интрузий габбро-турмалин встречается довольно часто. Он присутствует в основных породах (габбро), в осадочно-метаморфических (сланцы и кварциты), иногда в гранитах, а также в кварцевых жилках, секущих габбро.

ТУРМАЛИН В ГАББРО

В среднезернистом лейкократовом габбро, приуроченном к области висячего бока интрузии, турмалин образует радиально-лучистые агрегаты до 3 см в диаметре, состоящие из длиннопризматических и игольчатых кристаллов. Кристаллики турмалина часто пересекают таблитчатые зерна полевого шпата, реликты которого сохраняются в промежутке лучистых выделений турмалина. Цвет турмалина черный (в тонких сколах имеет розоватый оттенок). Плеохроирует от зеленовато-бурого с синим оттенком по No до бесцветного или розового по Ne. Светопреломление: No = 1,661; Ne = 1,626; No — Ne = 0,035 ± 0,002. Уд. вес 3,149. Химический анализ этого турмалина приведен в таблице. Спектрально установлены Ti, Sr, Ga (сотые доли процента), Mn, V, Co, Ce (тысячные доли процента) и Cu (следы).

В области лежачего бока интрузии турмалин наблюдается по плоскостям отдельности в амфиболитизированном и соскюритизированном среднезернистом мезократовом габбро с пойкилитовыми зернами пироксена. Турмалин встречается в виде черных со стекловатым блеском призматических кристаллов, достигающих более 1 см в длину и 0,3—0,4 см в поперечнике. Кристаллы тесно срастаются друг с другом, образуя характерные гнездообразные выделения до 5—6 см в диаметре. Они обычно деформированы, трещиноваты и часто превращены в сплошную черную массу. В тех случаях, когда кристаллы турмалина имеют сравнительно хорошие ограничения, наблюдается развитие граней призмы и тригональной пирамиды. В тонких сколах турмалин окрашен в темно-зеленый цвет. Плеохроирует от темно-бурого с зеленым оттенком по No до буроватого по Ne. Светопреломление: No = 1,676; Ne = 1,650; No — Ne = 0,026 ± 0,002. Уд. вес 3,233.

Турмалин развит также в виде единичных удлинненно призматических кристалликов до 0,6—0,8 см в тонкозернистом измененном габбро западного контакта. Кристаллы турмалина встречаются в ассоциации с эпидотом, кварцем, альбитом, роговой обманкой, сфеном и хлоритом,

Результаты химического анализа турмалина

Компоненты	Вес. %				
	1	2	3*	4	
SiO ₂	36,73	34,32	35,84	35,46	
TiO ₂	1,42	1,00	0,80	0,23	
B ₂ O ₃	10,18	9,88	10,51	10,35	
Al ₂ O ₃	31,77	32,47	30,87	30,87	
Fe ₂ O ₃	0,69	3,75	5,63	2,07	
Cr ₂ O ₃	—	—	0,02	—	
FeO	4,70	4,76	1,26	9,41	
MnO	0,04	Следы	0,002	0,09	
MgO	8,03	6,90	7,49	5,69	
CaO	1,93	2,50	1,16	0,60	
Na ₂ O	2,93	1,11	3,25	2,08	
K ₂ O	0,50	0,14	0,29	Не обн.	
Li ₂ O	—	—	0,003	—	
F	0,12	0,50	—	—	
V ₂ O ₃	—	—	0,06	—	
CO ₂	—	—	1,10	—	
P ₂ O ₅	—	—	0,003	—	
H ₂ O ⁻	—	0,06	0,12	0,20	
H ₂ O ⁺	1,14	2,54	1,11	3,04	
Поправка на F ₂ = O	100,18	99,93			
Сумма	—0,05	—0,21	99,52	100,09	
	100,13	99,72			
Показатели преломления	No	1,656	1,662	1,654	1,661
		Ne	1,631	1,636	1,628
No — Ne	0,025	0,026	0,026	0,035	
Уд. вес.	3,101	—	2,94	3,149	

Кристаллохимические формулы:

- $(Ca_{0,34}Na_{0,92}K_{0,10})_{1,36}(Mg_{1,95}Fe_{0,64}^{II}Fe_{0,08}^{III}Ti_{0,17}Al_{3,10})_{5,94}[Si_{5,99}Al_3B_{2,86}(O_{28,70}OH_{1,24} \cdot F_{0,06})_{30}]$
- $(Ca_{0,43}Na_{0,35}K_{0,03})_{0,81}(Mg_{1,67}Fe_{0,65}^{II}Fe_{0,46}^{III}Ti_{0,12}Al_{3,21})_{6,11}[Si_{5,57}Al_3B_{2,77}(O_{26,99}OH_{2,75} \cdot F_{0,26})_{30}]$
- $(Na_{1,05}K_{0,06})_{1,11}(Mg_{1,81}Fe_{0,17}^{II}Fe_{0,70}^{III}Ti_{0,10}V_{0,01}Al_{3,06})_{5,85}[Si_{5,97}Al_3B_{3,02}(O_{28,77}OH_{1,23})_{30}]$
- $(Ca_{0,10}Na_{0,65})_{0,75}(Mg_{1,35}Fe_{1,28}^{II}Fe_{0,25}^{III}Ti_{0,03}Al_{2,92})_{5,88}[Si_{5,78}Al_3B_{2,91}(O_{26,74}OH_{3,26})_{30}]$

- Турмалин из кварцитов западного контакта Копанского габбрового массива (Южный Урал). Аналитик К. П. Сокова, ИГЕМ АН СССР.
- Турмалин из кварцево-турмалиновой породы (Южная Якутия). Аналитик В. А. Молева, ИГЕМ АН СССР (Сердюченко, 1956).
- Турмалин из кварцитов р. Ярогу (Южная Якутия) (Глебов, 1958).
- Турмалин из габбро Копанского массива (Южный Урал), аналитик Т. М. Митюшина, ИГЕМ АН СССР.

* При пересчете анализа было принято, что CO₂, весь CaO и незначительная часть MgO связаны с карбонатом.

выполняющими трещинки в габбро. Порода при этом амфиболлизирована, смята и рассланцована. Единичные кристаллики турмалина наблюдались под микроскопом в рудном габбро, где он вместе с пеннином и кальцитом развит в трещинках. Несколько реже призматические и радиально-лучистые агрегаты турмалина в ассоциации с эпидотом и хлоритом выполняют трещинки в титаномагнетитовых рудах. Рудные минералы на контакте с турмалином интенсивно лейкоксенизованы.

Нередки случаи нахождения турмалина в кварцевых жилках, секущих мелкозернистое габбро. При этом турмалин образует расходящиеся пучки тонких игольчатых кристалликов в грубошестоватом агрегате кварцевых зерен. Вместе с турмалином в виде незначительной примеси встречаются хлорит, альбит, сфен, роговая обманка. В габбро на контакте с кварцевой жилой (при ширине ее 15—20 см) наблюдается осветление, связанное с замещением первичных компонентов габбро эпидотом, кварцем, хлоритом, шахматным альбитом, сфеном, в то время как на расстоянии 2—3 м от контакта изменение габбро выражается в сосюритизации полевого шпата, амфиболизации пироксена и лейкоксенизации рудных минералов. Такое осветление пород в непосредственном контакте, очевидно, связано с концентрацией в кварцевых жилах турмалина, извлекавшего необходимое количество железа и магния для своего образования из вмещающих габбро. Аналогичное обесцвечивание пород в контакте отмечалось А. Е. Ферсманом (1939), Б. М. Меликсетяном (1959).

ТУРМАЛИН В КВАРЦИТАХ

Кварциты приурочены к области западного контакта интрузии основных пород с протерозойскими осадочными отложениями и прослеживаются на расстоянии нескольких десятков километров согласно с простиранием габбровых массивов. Среди кварцитов различаются почти мономинеральные и полевошпатовые разновидности. К последним принадлежат турмалин-содержащие кварциты, характеризующиеся более высокой степенью метаморфизма. Они переслаиваются главным образом с плагноклаз-пироксеновыми роговиками, содержащими биотит и роговую обманку, кварцевыми роговиками и кварцевыми габбро. В кварцитах наблюдаются согласные жилы гранита и многочисленные более мелкие инъекции его. Местами обе разновидности пород трудно отличимы друг от друга.

Турмалин-содержащие кварциты отличаются от других разновидностей большим размером зерен кварца и полевого шпата, совершенно иной формой их выделений, характером сростаний зерен и более сложным минеральным составом.

Турмалин в кварцитах встречается в виде небольших пятен (до 1,0—1,5 см) и гнездообразных скоплений (до 5—6 см в диаметре) округлой или плоско-линзовидной формы (рис. 1). Граница таких обособлений с вмещающими породами отчетливая с заметным проникновением отдельных рассеянных кварцево-турмалиновых образований (шнуров) в основную массу кварцита. Отчетливая граница кварцево-турмалиновых обособлений подчеркивается наличием внешней светлой каемки, состоящей из зерен голубоватого кварца. Как правило, эти каемки лишены выделений турмалина. Кроме того, турмалин выполняет тонкие (1—3 мм) трещинки в кварците и появляется в кварцевых жилках, секущих породу, обуславливая более позднюю стадию процесса турмалинизации кварцитов.

Кварциты характеризуются крайне неравномерным распределением турмалина. Максимальные его концентрации приурочены к участкам пород, наиболее обогащенным полевым шпатом и интенсивно измененным в результате воздействия гранитов.

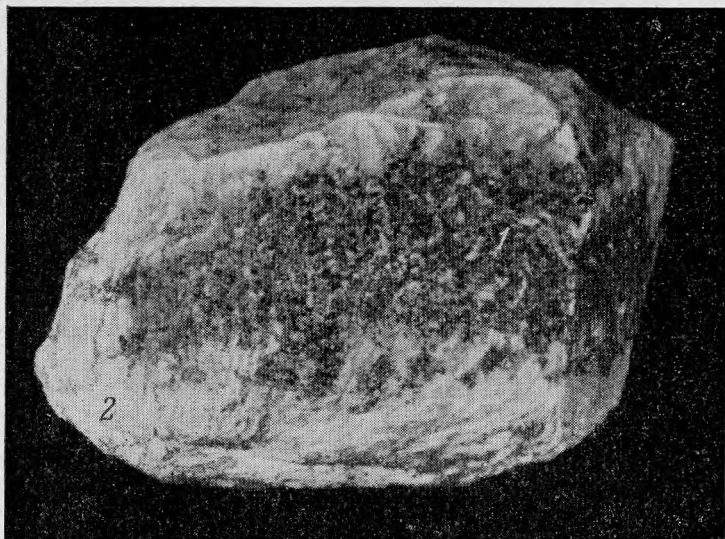


Рис. 1. Кварцево-турмалиновые агрегаты 1 в кварците, окруженные светлой каемкой, состоящей из кристаллов метасоматического кварца 2. Naturalная величина

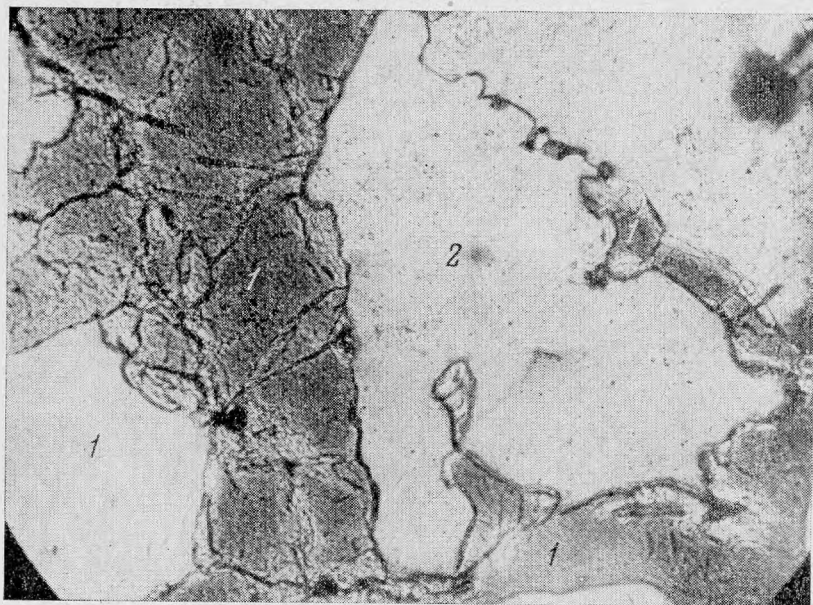


Рис. 2. Форма выделения турмалина, аналогичная выделению полевого шпата в кварците

1 — турмалин; 2 — кварц; $\times 30$, без анализатора

При микроскопическом изучении, наряду с главными компонентами, установлены: биотит, мусковит, серицит, циркон, рутил, ильменит, сфен, пирит и др.

Кварц наблюдается в виде неправильных, лапчатых, полигональных, несколько удлинённых или округлых зерен, имеющих сложные структуры срастания между собою и с зернами полевого шпата. Широко развиты микростилолитовая и инкорпорационная структуры срастания. Нередко встречаются зерна кварца с реликтивными включениями полевого шпата, кварца и хлорито-серицитового цемента, свидетельствующими о метасоматическом развитии включающего кварца. Особую разновидность представляет кварц, находящийся в тесной ассоциации с турмалином и составляющий внешнюю кайму кварцево-турмалиновых скоплений. Установленное соотношение с этим кварцем и кварцем, составляющим основную массу породы, показывает на позднее его происхождение, что можно объяснить выделением избытка кремнекислоты в процессе замещения калиевого полевого шпата турмалином.

Полевой шпат в слабо метаморфизованных кварцитах представлен главным образом калиевым полевым шпатом, в то время как в турмалин-содержащих кварцитах шахматным альбитом, альбитом (№ 0—4) и реже микроклином. Количество полевого шпата достигает 40% объема породы. В основном он выполняет интерстиции и местами цементирует зерна кварца. При этом значительные участки полевошпатовых выделений обнаруживают одну и ту же оптическую ориентировку, отвечая крупному монокристаллу.

Увеличение размера зерен кварца и полевого шпата в турмалиновых кварцитах, своеобразная форма их выделения и сложные структуры срастания свидетельствуют о процессах перекристаллизации, вызванных метаморфизмом, интенсивность которых усиливается по мере приближения к контакту кварцитов с гранитами и особенно с микропегматитами.

Турмалин занимает то же самое структурное положение, что и выделения полевого шпата (рис. 2). Зерна турмалина так же, как и зерна полевого шпата, имеют неправильные очертания, обусловленные контурами соприкасающихся зерен кварца. Часто отдельным группам зерен турмалина свойственна одинаковая оптическая ориентировка, указывающая на принадлежность их одному крупному кристаллу, аналогичному таковым же полевым шпатам. Кроме того, наблюдались случаи непосредственного замещения турмалином полевого шпата. Об этом свидетельствует наличие в турмалине разрозненных реликтовых участков плагиоклаза с одновременным погасанием, которые ранее, по-видимому, представляли одно зерно калиевого полевого шпата, впоследствии замещенное альбитом (рис. 3).

Турмалин и ассоциирующийся с ним кварц, образовавшийся в процессе замещения калиевого полевого шпата турмалином, имеют очень характерные границы срастания с отчетливо выраженными идиоморфными контурами кристаллов кварца, в то время как граница срастания турмалина с кварцем основной массы породы извилистая со следами растворения.

Цвет турмалина сравнительно однородный золотисто-бурый или бурый с заметным плеохроизмом от бледно-желтого по № до желтовато-бурого по №. По краям зерен бурого турмалина нередко наблюдается развитие турмалина с голубоватым оттенком, который также выполняет трещинки в этом минерале вместе с кварцем, хлоритом (пеннином) и сульфидами (пиритом). В участках с наиболее развитой трещиноватостью турмалин иногда обнаруживает зональное строение, обусловленное неоднократным чередованием зон, окрашенных в желтые и голубые цвета различной интенсивности. Вероятно, эта разновидность турмалина по времени выделения относится к более поздней генерации. Это также

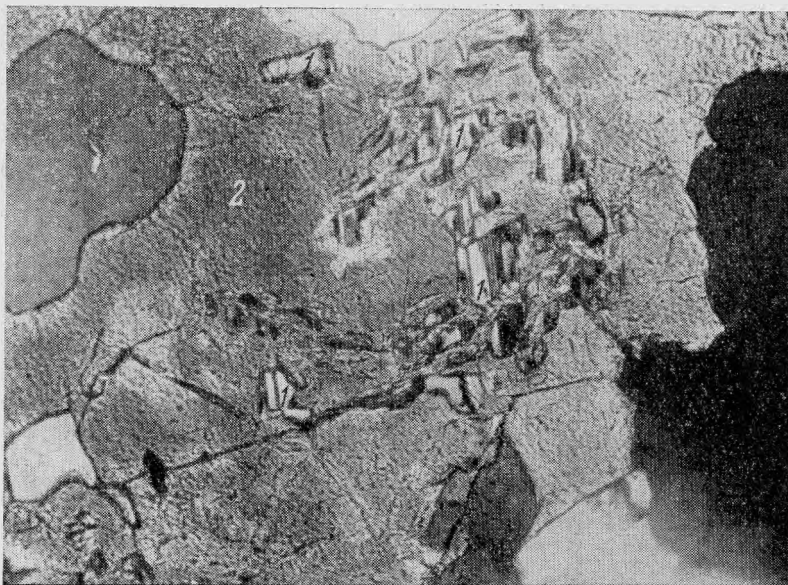


Рис. 3. Реликтовые участки плагиоклаза 1 в турмалине 2. $\times 150$, николи скрещены



Рис. 4. Структурное положение зерен турмалина, одинаково оптически ориентированных, в кварците

1 — турмалин; 2 — кварц; $\times 30$, без анализатора

подтверждается замещением идиоморфных кристаллов кварца турмалином с голубым оттенком.

Более детально исследовался турмалин из кварцево-турмалиновых линзочек, где он образует агрегатные выделения и отдельные каркасные в срезах зерна (рис. 4), выполняющие интерстиции. Там, где зерна кварца

довольно плотно соприкасаются друг с другом, турмалин образует между ними прокладку в виде тонких нитевидных выделений. Из массы неправильных зерен турмалина удалось извлечь обломки мелких (0,3—0,6 мм) кристалликов темно-бурого турмалина. Эти кристаллики были подвергнуты гониометрическому изучению (при консультации Т. А. Яковлевской), в результате которого на них были установлены формы призмы m {1120}, a {10 $\bar{1}$ 0} и тригональной пирамиды r {11 $\bar{2}$ 1}, d {11 $\bar{2}$ 4}, ϕ {2241}. Формы r {11 $\bar{2}$ 1} и ϕ {2241} являются наиболее развитыми и при измерении давали хорошие сигналы. Небольшое число форм очень характерно и, вероятно, связано с условиями роста кристаллов. Светопреломление турмалина: $N_o = 1,656$; $N_e = 1,631$; $N_o - N_e = 0,025$. Уд. вес 3,401.

Химический анализ тщательно отобранного под бинокляром турмалина и расчет его структурной формулы по Н. В. Белову и Е. Н. Беловой (1949) приведены в таблице. При расчете формулы возникли некоторые неувязки, в частности, в виде превышающей единицу величины первого коэффициента. Следует подчеркнуть, что, по-видимому, это не дефект анализа, а какая-то еще непонятная закономерность в структуре турмалина, так как подобное превышение или, наоборот, уменьшение первого коэффициента наблюдается в большинстве случаев для приведенных в литературе анализов турмалина. На эту особенность также указывает И. Д. Борнеман (1963) в своем руководстве.

Несмотря на имеющийся обильный материал в литературе, касающийся состава и генезиса турмалина, этих данных для турмалина из кварцитов оказалось мало. Для сравнения в таблице приведены анализы турмалинов из очень близких, если не аналогичных, условий нахождения их в турмалиносодержащих кварцитах Южной Якутии, обогащенных в той или иной степени полевым шпатом. Из кристаллохимической формулы турмалина отчетливо устанавливается резкое преобладание закисного железа над окисным (8 : 1), в то время как в турмалинах из Южной Якутии, имеющих осадочное происхождение (Сердюченко, 1956), в одном случае (анализ 2) содержание Fe^{2+} незначительно превышает содержание Fe^{3+} , а в другом случае (анализ 3) количество трехвалентного железа увеличивается в несколько раз (4 : 1) по сравнению с двухвалентным железом. Следует отметить, что суммарное содержание железа в турмалине из габбро (анализ 4) в два раза больше, чем в турмалине из кварцитов в зоне контакта габбрового массива. Такое различие в содержании железа в турмалине из габбро и кварцитов подтверждает давно высказанное соображение о том, что содержание железа в исходной породе влияет на состав турмалина, который в известной мере отражает условия его генезиса (Лебедев, 1945).

Из кристаллохимических формул видно, что отношение $Mg : Fe^{2+} : Fe^{3+}$ для всех четырех приведенных анализов турмалинов соответственно отвечает цифрам 3 : 1 : 0,1; 2,6 : 1 : 0,7; 10 : 1 : 4; 1 : 1 : 0,2. Содержание двуокиси титана в исследуемом турмалине значительно выше, чем в турмалинах Южной Якутии. Но в то же время наблюдается сравнительно более низкое содержание TiO_2 в турмалине из габбро, обогащенном рудными минералами такими, как ильменит и титаномагнетит. По-видимому, увеличение TiO_2 в турмалине из кварцитов связано с нахождением рутила во вмещающих породах. Вероятно, различная форма нахождения титана в одном случае в ильмените (габбро), а в другом — в рутиле (кварциты, сланцы и др.) по-разному влияла на степень вхождения титана в кристаллическую решетку турмалина. Изученный нами турмалин характеризуется повышенным содержанием щелочей Na_2O и K_2O . Примерно равное количество щелочей наблюдается и в турмалине из кварцитов р. Ярогу

(Южная Якутия). Повышенная щелочность в турмалине из Южной Якутии А. В. Глебовым (1958) объясняется генетической связью с вмещающими кварцитами, содержащими в некоторых участках значительное количество полевого шпата. Отсутствие K_2O в турмалине из габбро и наличие его в турмалине из кварцитов, по-видимому, связано с условиями образования турмалина в кварцитах в результате замещения им калиевого полевого шпата.

Кроме приведенных в таблице окислов, спектральным анализом установлены тысячные доли процента Sr, Cr, V, Ga, Co, Ni. Данные рентгеноструктурного анализа обнаружили почти полную тождественность его структуры с эталонной структурой турмалина (Михеев, 1957), что позволило путем сравнительного индицирования (при консультации Н. И. Органовой) вычислить размеры элементарной ячейки, оказавшиеся равными: $a = 15,96$; $c = 7,02$; $c/a = 0,4398$, очень близкие к геометрическим постоянным структуры магнезиального турмалина (дравита), установленным Н. В. Беловым (1949).

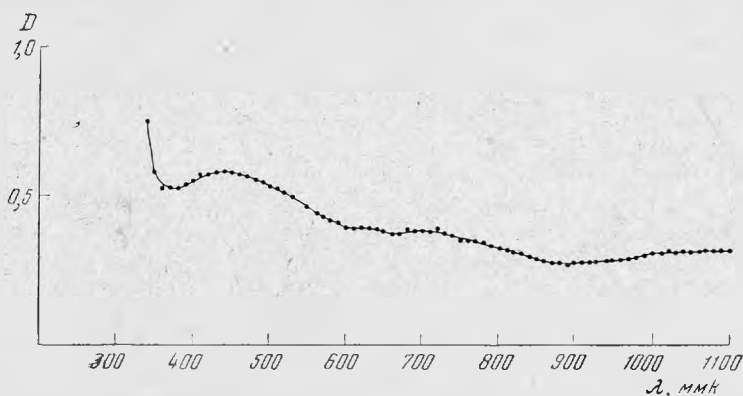


Рис. 5. Кривая спектрального поглощения турмалина из кварцево-турмалинового обособления в кварците

Кривая спектрального поглощения порошка турмалина из кварцитов (рис. 5), полученная А. В. Певневой в отраженном свете на микрофотометре СФ-4 под руководством С. В. Грум-Гржимайло (Институт кристаллографии АН СССР), является отличной от всех приведенных в литературе кривых поглощения для турмалинов. Вторая часть кривой в инфракрасной области спектра обнаруживает заметный максимум при 700 ммк и следующий за ним широкий минимум, которые находят отражение в известных кривых для турмалина и являются характерными для веществ, окраска которых вызвана двухвалентным железом в шестерной координации (Грум-Гржимайло, 1952, 1956). Максимум поглощения в видимой части спектра не типичен для турмалинов, и с какими окрашивающими элементами связано его появление, сказать трудно. По-видимому, здесь какую-то роль играл титан, возможно, в совокупности с другими элементами.

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ТУРМАЛИНА И РОЛЬ БОРА В ЭТИХ ПРОЦЕССАХ

Унаследованная структура зерен турмалина, реликты калиевого полевого шпата, обычно замещенные альбитом, отсутствие полевого шпата внутри кварцево-турмалиновых агрегатов свидетельствуют о метасоматическом происхождении турмалина. При этом образование турма-

лина по калиевому полевому шпату сопровождается выделением избытка кремнекислоты в виде кварца, находящегося в тесном срастании с турмалином. Вмещающие турмалин кварциты подверглись в очень неравномерной степени альбитизации в связи с условиями их нахождения. В сильно метаморфизованных разностях кварцитов, инъецированных гранитами, это явление выражено более полно. Вероятно, процесс турмалинизации является тесно связанным с альбитизацией, но замещение калиевого полевого шпата альбитом в кварцитах было, очевидно, более ранним, затем оба процесса происходили, возможно, одновременно и в завершающей стадии формирования породы процесс турмалинизации оказался более длительным, обуславливающим замещение турмалином альбита. Кроме того, более поздний турмалин развивается по краям зерен и трещинкам ранее выделившегося турмалина, замещает кварц, образовавшийся в результате избытка кремнекислоты при замещении полевого шпата турмалином. Турмалин также встречается в кварцевых жилках, секущих кварциты, в которых, помимо выполнения жильного пространства, наблюдается развитие турмалиновых лучей от трещинок в твердой среде кварца.

Замещение полевого шпата турмалином с образованием кварц-турмалиновых агрегатов представляет довольно распространенное явление в пегматитах, гранитах и грейзенах, нашедшее отражение в ряде работ (Успенский, 1946; Боженко, Лиса, 1949; Сливко, 1955; Руб, 1957; Данилович, Сливко, 1960; Абдулин, 1960, и др.). В значительно меньшей степени освещено в литературе метасоматическое образование турмалина в осадочных породах, в частности кварцитах (Митич, 1946; Глебов, 1958).

До последнего времени остается спорным и нерешенным вопрос об источнике бора в турмалинах. Большинство исследователей (Ферсман, 1939; Лебедев, 1945; Лодочников, 1947; Руб, 1957; Шабынин, 1958, 1959; Данилович, Сливко, 1960, и др.) считают источником бора в турмалинах интрузивные породы, главным образом граниты, с их последующими постмагматическими процессами. С проявлением гранитной магмы и ее производных связывается также некоторыми исследователями образование турмалина в осадочных породах (Афанасьев, 1939; Горошников, 1956; Доломанова, 1956; Шабынин, 1958; Турובה, 1958, и др.).

В сравнительно небольшом количестве работ приведены данные о генетической связи бора с породами основной магмы (серпентинитами, габбро и диабазами). В. Н. Лодочников (1936) в своей монографии рассматривает образование турмалина в генетической связи с серпентинитами и приводит ряд литературных данных, подтверждающих эти взгляды (Duparc и Sigg, 1914; Lacroix, 1914, и др.). А. Е. Ферсман (1939, стр. 51) считает, что бор «весьма редок в связи с ультраосновными или основными породами». На основании многочисленных спектральных анализов различных пород Сахама (Sahama, 1945) установила, что содержание бора в ультрабазитах достигает от 0,01 до 0,1%, т.е. в десять раз больше, чем в гранитах, но несмотря на это борсодержащих минералов в ультрабазитах не установлено даже в аксессуориях. Этот факт Сахама объясняет вхождением бора в решетку водосодержащих минералов, таких, как роговая обманка, слюда и серпентин. Повышенное содержание B_2O_3 в биотите и роговой обманке по сравнению с другими силикатами отмечается Н. И. Навковником (1954).

Наряду со взглядами о магматическом источнике бора, существует другая точка зрения о первичной концентрации его в древних осадках. Эта точка зрения впервые была высказана Гольдшмидтом и Петерсом (Goldschmidt, Peters, 1932), которые установили повышенное содержание B_2O_3 в осадочных отложениях (главным образом глинистых) до 0,1%, в среднем 0,03—0,05% по сравнению с изверженными породами (0,001%

B_2O_3). Эти исследователи паличие турмалина в регионально- или контактово-метаморфических породах, образовавшихся из глинистых морских осадков, непосредственно связывают с нахождением бора в первичных осадках, а не с привнесом его из магмы. Аналогичные выводы о происхождении бора в древних докембрийских породах приведены в работе Ландергрена (Landergrén, 1945). Данный автор считает, что большая часть бора накапливается во время первичного осадкообразования, последующий же метаморфизм осадков приводит к образованию турмалина. Эти выводы находят отражение в исследованиях Фронделя и Коллетта (Fron- del a. Collette, 1957). А. Е. Ферсман (1939, стр. 51) не отрицает пути накопления бора за счет «остаточных образований земной поверхности и глинистых масс». Г. Б. Митич (1946) приходит к заключению об образовании турмалина в кварцитах Южной Якутии гидрохимическим путем из существенно магнезиальных осадочных боратов. В работе Н. И. Наковника (1954) высказывается предположение о происхождении турмалина в породах интрузии за счет поступления бора из магмы, усвоившей его во время внедрения из глинистых сланцев.

За последнее время точка зрения об осадочном источнике бора получила широкое развитие в ряде работ Д. П. Сердюченко (1955, 1956, 1960). Образование турмалина, представляющего существенную составную часть полевошпатово-турмалиновых кварцитов Южной Якутии, он связывает с первично-осадочным накоплением бора в древних песчанисто-глинистых осадках, в дальнейшем подвергшихся региональному или регионально-контактовому метаморфизму. Кварцево-турмалиновые обособления и жилковидные выделения турмалина в кварците, согласно мнению Д. П. Сердюченко, образуются в результате частичной перекристаллизации породы под влиянием гидротермальных растворов, связанных с интрузией более поздних гранитов, но при этом источником бора служили осадочные породы, а магматические растворы являлись только лишь путем переноса химических элементов¹.

Одной из характерных особенностей геологического положения изученных нами турмалиносодержащих кварцитов является пространственная приуроченность к контакту габбровой интрузии с древними протерозойскими отложениями. Имеются также случаи непосредственного нахождения турмалина в габбро, развивающегося метасоматически по трещинкам отдельности породы. Но этих данных недостаточно для того, чтобы судить о генетической связи турмалина с постмагматическими растворами габбровой магмы.

Развитие турмалина в кварцитах, представляющих очень выдержанный по простиранию горизонт, который прослеживается согласно с вмещающими породами на несколько десятков километров в области западного контакта габбровых массивов, является единственным предположением осадочно-метаморфического происхождения турмалина. Но несмотря на то, что в некоторых случаях явно наблюдались признаки первичной осадочной природы кварцита, реликтов обломочных окатанных зерен турмалина с явлениями регенерации установлено не было.

Выделение турмалина в кварцитах крайне неравномерно. Максимальные его концентрации приурочены к полевошпатовым кварцитам, подвергшимся перекристаллизации и частичной гранитизации в результате воздействия гранитов, инъекции которых обильны в кварцитах. Турмалин, как правило, встречается в виде своеобразных, пространственно

¹ Точка зрения, развиваемая Д. П. Сердюченко, о первичноосадочной концентрации бора как в древних осадочных, так и более поздних магматических породах, поддерживается некоторыми исследователями (Глебов, 1958; Меликсетян, 1959; Юрк, Рябконов, Шнюков, 1960; Бургеля, 1961, и др.).

обособленных кварцево-турмалиновых агрегатов, метасоматически развивающихся по калиевому полевоому шпату. При этом интересно отметить сходство процессов, протекающих при турмалинизации в исследованных кварцитах с процессами турмалинизации в пегматитах, гранитах и грейзенах. Наблюдаются случаи развития более поздней генерации турмалина по трещинкам и краям неправильных выделений турмалина. Нередко турмалин встречается и в других породах района в габбро, гранитах, кварцевых жилках, секущих габбро и кварциты. На основании приведенных данных можно считать, что изученные нами турмалины из габбро и кварцитов генетически связаны с постмагматическими растворами гранитных интрузий. Причем полевошпатовые кварциты с высоким содержанием глинозема являлись благоприятной средой для воздействия растворов, обусловивших гранитизацию и турмалинизацию данных кварцитов. Таким образом, возникновение турмалина имело место в уже сформированной твердой породе в результате диффузии борсодержащих растворов, имеющих магматическое происхождение.

Турмалин является типичным реакционным минералом (Коржинский, 1953), образующимся при взаимодействии раствора с минералами породы. В состав его входят как компоненты замещаемой породы (Al_2O_3 , SiO_2 , K_2O), так и компоненты, привнесенные раствором (B_2O_3 , Na_2O , Fe_2O_3 , FeO , MgO и др.). Привнос натрия отчетливо проявляется в альбитизации кварцитов в результате замещения калиевого полевого шпата альбитом. При этом процессы альбитизации и турмалинизации породы, по-видимому, сопровождаются выносом калия. Развитие железо-магнезиального турмалина при незначительном содержании железа и магния в кварците свидетельствует о привносе этих элементов растворами, связанными с внедрением гранитов в основные породы (габбро), обогащенные железом и магнием. С привносом магния связано не только образование турмалина, но и биотитизация и амфиболитизация роговиков, переслаивающихся с кварцитами, на контакте их с гранитами. В процессе турмалинизации кварцитов увеличивается количество кремнезема в результате замещения калиевого полевого шпата турмалином. Но наряду с этим, вероятно, имел место и частичный привнос кремнезема извне, о чем свидетельствует наличие метасоматического кварца с реликтами исходной породы и нахождение кварца в более поздних жилках с турмалином. Д. С. Коржинский (1942) отмечает увеличение подвижности кремнезема с понижением температуры. При образовании турмалина глинозем извлекался из вмещающих кварцитов.

Из установленного Д. С. Коржинским (1953) ряда относительной подвижности компонентов при высокотемпературных процессах следует, что вполне подвижными компонентами при турмалинизации являются H_2O , K_2O , Na_2O и B_2O_3 , подвижными — MgO , Fe , незначительной степенью подвижности обладает SiO_2 и к числу инертных компонентов относятся Al_2O_3 и TiO_2 .

На основании экспериментальных данных Смита (Smith, 1949), Фронделя и Коллетта (Frondel, Collette, 1957) определены довольно узкие пределы устойчивости турмалина в отношении температуры и состава растворов. Установлено, что турмалин устойчив только в слабых щелочных растворах и неустойчив в сильнокислых и сильнощелочных растворах. Кроме того, высокое отношение Ca , Mg и Fe относительно Al и Si является неблагоприятным для выделения турмалина. Отмечается, что турмалин в щелочных растворах устойчив с кварцем, альбитом и глиноземистым слюдоподобным минералом. На образование турмалина в отсутствие избытка щелочей в связи с постмагматическими процессами кислой магмы указывал еще В. И. Лебедев (1945).

Изученный нами турмалин характеризуется резким преобладанием в составе закисного железа над окисным, по-видимому, этот факт в какой-то степени также свидетельствует о развитии турмалина в менее щелочных условиях, так как щелочная среда способствовала бы процессу окисления.

В заключение автор выражает глубокую признательность В. С. Мясникову и Л. И. Шабныну за внимательное чтение рукописи и сделанные замечания.

ЛИТЕРАТУРА

- Абдуллин А. А. Некоторые особенности формирования эндогенных турмалиновых формаций севера и северо-востока Центрального Казахстана.— Изв. АН Каз. ССР, серия геол., 1960, вып. 3 (40).
- Афанасьев Г. Д. Петрографическое описание приамурской части Малого Хинганга.— Труды Дальневост. фил. АН СССР, серия геол., 1939, 1.
- Белов Н. В., Белова Е. Н. Кристаллическая структура турмалина.— Докл. АН СССР, 1949, 69, № 2.
- Боженко Г. М., Лиса Н. Я. Турмалин из пегматитовых образований Западной Волыни.— Минер. сб. Львовск. геол. об-ва, 1949, № 3.
- Борнеман-Старынкевич И. Д. Руководство по расчету химических формул минералов. Изд-во «Наука», 1964.
- Бургеля Н. К. О турмалинах из Бакальского железорудного месторождения. В кн.: «Очерки по металлогении осадочных пород». М., Изд-во АН СССР, 1961.
- Глебов А. В. Турмалиновые и магнетитовые кварциты реки Амедичи в Южной Якутии.— В кн.: «Очерки осадочных месторождений полезных ископаемых». М., 1958.
- Горошников Б. И. О турмалине из зоны Саксаганского надвига.— Геол. ж. АН УССР, 1956, 16, вып. 3.
- Грум-Гржимайло С. В. Методика исследования окраски минералов.— Минер. сб. Львовск. геол. об-ва, 1952, № 6.
- Грум-Гржимайло С. В. Об окраске турмалинов и их исследовании в ультрафиолетовом поляризованном свете.— Труды Ин-та кристаллографии АН СССР, 1956, 12.
- Данилович Л. Г., Сливко М. М. К вопросу о турмалинизации в гранитах Калбинского комплекса.— Геология и геофизика, 1960, № 11.
- Доломанова Е. И. К вопросу об ассимиляции и гранитизации песчаниково-сланцевых пород.— Сов. геология, 1956, сб. 51.
- Коржинский Д. С. Понятие о геохимической подвижности элементов.— Зап. Всес. минер. об-ва, 1942, ч. 71, № 3—4, 2 серия.
- Коржинский Д. С. Очерк метасоматических процессов.— В кн.: «Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях». Изд-во АН СССР, 1953.
- Коржинский Д. С. Теория инфильтрационного метасоматоза с образованием реакционных минералов.— Изв. АН СССР, серия геол., 1953, № 4.
- Лебедев В. И. О химической формуле турмалина, аксинита и дюмортьерита.— Докл. АН СССР, новая серия, 1945, 47, № 9.
- Лодочников В. Н. Серпентины и серпентиниты Ильчирские и другие и петрологические вопросы, с ними связанные.— Труды ЦНИГРИ, 1936, вып. 38.
- Лодочников В. Н. Главнейшие порообразующие минералы. Госгеолиздат, 1947.
- Меликсетян Б. М. О некоторых особенностях процесса турмалинизации.— Изв. АН Арм. ССР, серия геол., 1959, 12, № 5.
- Митич Г. Б. Турмалиносодержащий горизонт в кварцитах Алданской плиты.— Докл. АН СССР, 1946, 53, № 3.
- Михеев В. И. Рентгенометрический определитель минералов. Госгеолтехиздат, М., 1957.
- Наковник Н. И. Грейзены.— В сб.: «Измененные околорудные породы и их поисковое значение». М., 1954.
- Руб М. Г. Грейзены Юго-Западного Приморья и их генезис.— Труды ИГЕМ АН СССР, 1957, вып. 5.
- Сердюченко Д. П. О некоторых богатых бором осадочно-метаморфических фациях.— Докл. АН СССР, новая серия, 1955, 102, № 4.
- Сердюченко Д. П. Минералы бора и титана в некоторых осадочно-метаморфических породах.— Труды Геол. ин-та АН СССР, 1956, вып. 5.
- Сердюченко Д. П. Борные осадочно-метаморфические формации.— В] кн.: «Вопросы седиментологии». М., 1960.

- Сливко М. М. К вопросу о турмалинизации в пегматитах.— Минер. сб. Львовск. геол. об-ва, 1955, № 9.
- Туробова З. В. К вопросу о контактовых взаимоотношениях нижнепротерозойских гранитов и кварцито-песчаников в Карелии.— Уч. зап. Якутск. ун-та, вып. 5, 1958.
- Успенский Н. М. Псевдографические сростки кварца с турмалином и гранатом в пегматитах.— Материалы ВСЕГЕИ. Полезные ископаемые, сб. 3, 1946.
- Шабныин Л. И. О генезисе Южно-Якутских железорудных месторождений.— Изв. АН СССР, серия геол., 1958, № 1.
- Шабныин Л. И. О закономерностях размещения и условиях образования концентратий бора в эндогенных боратах скарновых месторождений.— Изв. АН СССР, серия геол., 1959, № 3.
- Ферсман А. Е. Геохимия, т. 4, 1939.
- Юрк Ю. Ю., Рябоконт С. М., Шнюков Е. Ф. Турмалины Украинского кристаллического щита.— Труды Ин-та геол. наук АН УССР, серия петрограф., минер. и геохимии, 1960, вып. 6.
- Duranc L. et Sigg H. Sur un gisement de tourmalines dans une serpentine de l'Oural.— Bull. Soc. Franc. Min., 37, 1914.
- Fron del C. and Collette R. Synthesis of tourmaline by reaction of mineral grains with NaCl — H₃BO₃ solution and its implications in rock metamorphism.— Amer. mineral., 1957, 42, N 11/12.
- Goldschmidt V. M., Peters K. Zur Geochemie des Bors. Nachr. Geselsch. Wissensch. Göttingen I und II. Nath.— Phys. Klasse, 1932.
- Lacroix A. A propos de la tourmaline des serpenites.— Bull. Soc. Franc. Min., 37, 1914.
- Landergrén S. The distribution of boron in some swedish sediment rocks and iron ores. The boron cycle in the upper lithosphere. Arkiv Kemi, Min. o. Geol., 1945, 19 H, N 25.
- Sahama T. G. Spurenelemente der Gesteine im südlichen Finnisch—Lappland. Bull. Commiss. geol. Finlande, N 135, 1945.
- Smith F. Gordon. Transport and deposition of the non-sulphide vein minerals. IV. Tourmaline.— Econ. Geol., 1949, 44, N 3.