

Ив. Ф. ГРИГОРЬЕВ и Е. И. ДОЛОМАНОВА

**ТОПАЗ ИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАССИТЕРИТОВО-КВАРЦЕВОЙ  
ФОРМАЦИИ ЗАБАЙКАЛЬЯ И ЕГО МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ  
ИЗМЕНЕНИЯ**

Несмотря на то, что по топазу существует довольно многочисленная литература, топаз из месторождений касситеритово-кварцевой формации освещен в ней недостаточно, особенно его метасоматические изменения. В настоящей статье мы восполняем, хотя бы частично, этот пробел. При изучении минералогии месторождений Забайкалья указанного типа мы собрали довольно интересный материал по зависимости состава топаза и его форм выделения от условий образования, а также по его метасоматическим изменениям при гидротермальном процессе. Кроме того, в данной статье нами рассматриваются вопросы зависимости образования топаза от вещественного состава вмещающих пород.

Топаз в месторождениях касситеритово-кварцевой формации Забайкалья распространен не в одинаковой степени. Главная его масса встречается в оловянных и оловянно-вольфрамовых месторождениях, связанных с амазонитовыми гранитами или гранит-порфирами новокиммерийского возраста. Постмагматические высокотемпературные растворы этих интрузий содержали большее количество фтора по сравнению с постмагматическими растворами главной интрузивной фазы древнекиммерийского интрузивного комплекса гранитоидов.

Топаз в указанных месторождениях встречается как в околожильных грейзенах разного состава — в топазовых, кварцево-топазовых, мусковитово-топазовых, циннвальдитово-топазовых, кварц-топазово-циннвальдитовых и мусковит-топазово-кварцевых, так и в кварцево-топазовых рудных жилах, прожилках и линзах. В зависимости от того, где образуется топаз — в грейзенах или жилах и прожилках — и как — метасоматическим путем или путем выполнения открытых полостей, — он характеризуется особенностями состава, формы и условиями своего образования. Поэтому в настоящей статье вначале описывается топаз околожильных грейзенов, а затем топаз рудных жил.

**ТОПАЗ ОКОЛОЖИЛЬНЫХ ГРЕЙЗЕНОВ**

Околожильные грейзены, в составе которых принимает участие топаз, образуются под влиянием высокотемпературных постмагматических растворов за счет метасоматического замещения гранитов, плагиогранит-порфиров, гранит-порфиров, кварцевых порфиров и гранодиоритов, а также песчанико-сланцевых пород: глинистых песчаников, алевролитов



Рис. 1. Мусковитово-кварцевый грейзен, в котором мусковит (Mu) и кварц (Q) замещаются топазом (tp).  $\times 46$ , без анализатора

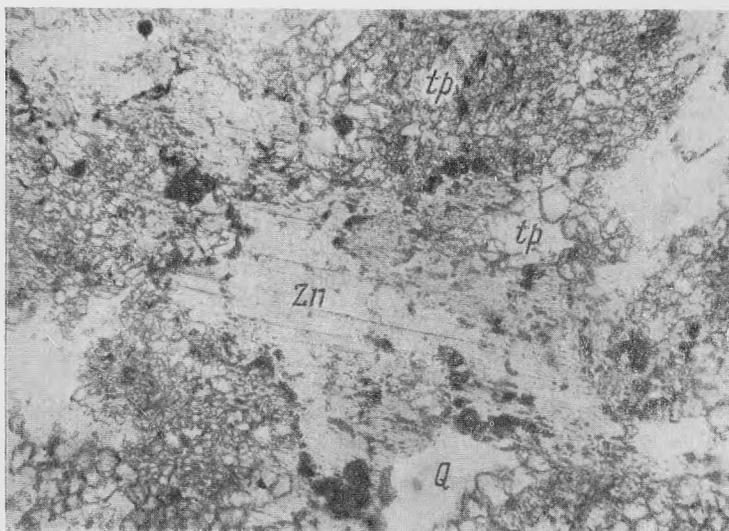


Рис. 2. Цинвальдитово кварцевый грейзен, в котором цинвальдит (Zn) замещается топазом (tp); Q — кварц.  $\times 46$ , без анализатора

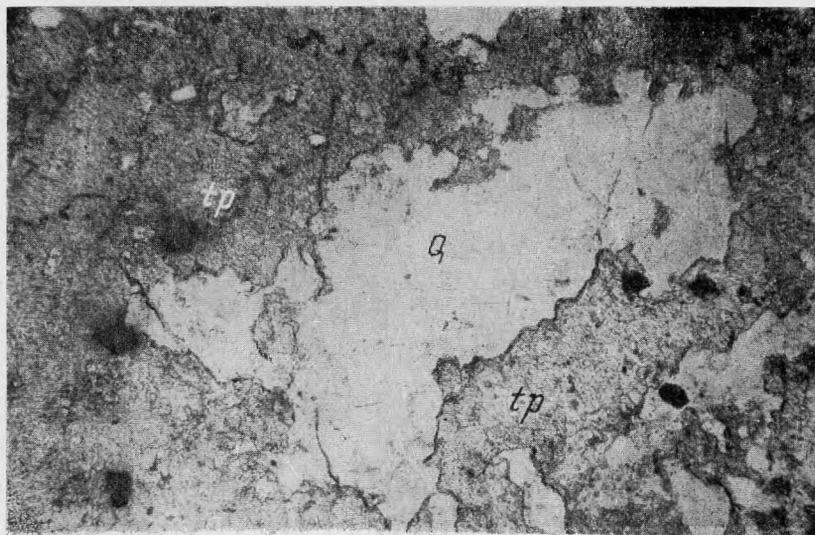


Рис. 3. Кварц (Q) замещается топазом (tp).  $\times 46$ , без анализатора

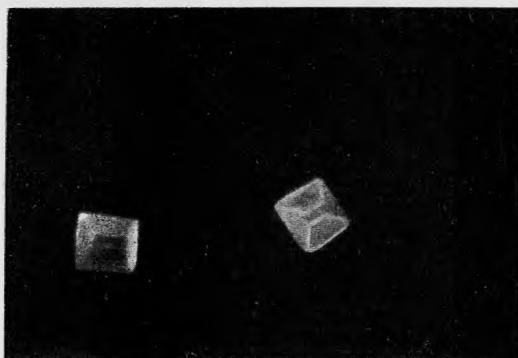


Рис. 4. Кристаллы топаза из грейзенов.  $\times 20$

ци  
ми  
зап  
тол  
и н  
фто  
лооб  
газо  
квол  
неже  
с жи  
грей  
лей м  
цветь  
бедог  
и та  
комби  
рактел  
I (120)  
Хи  
как за  
от топ  
нием

и глинистых сланцев. При этом условия образования топаза в результате замещения минералов гранитоидов, их жильных дериватов и минералов песчанико-сланцевых пород различны.

#### А. Топаз околожильных грейзенов, образующихся за счет гранитоидов и их жильных дериватов

Образованию топаза при грейзенизации гранитоидов предшествуют мусковитизация и превращение их в мусковитово-кварцевые или кварцево-мусковитовые грейзены. Обычно только после превращения гранитов в указанные грейзены начинает выделяться топаз, который чаще всего образуется за счет слюд этих грейзенов, а именно за счет мусковита и реже

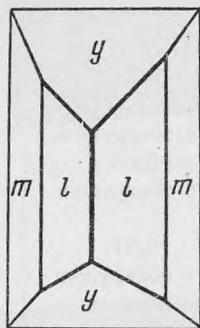


Рис. 5. Кристалл топаза из грейзенов:  
 $m$  (110),  $l$  (120),  $y$  (021)

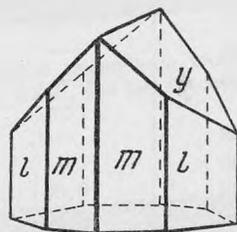


Рис. 6. Кристалл топаза из грейзенов:  
 $m$  (110),  $l$  (120),  $y$  (021)

циннвальдита (рис. 1 и 2). Кроме того, он замещает магматогенные кварц, микроклин, а также альбит, появляющийся в связи с процессом альбитизации гранитоидов (рис. 3). Образованию топаза здесь способствуют не только накопление глинозема в слюде в процессе грейзенизации гранитов и наличие большого количества кремнезема в них, но и большой привнос фтора и воды постмагматическими высокотемпературными растворами.

Топаз в этих грейзенах образуется в пневматолитовую стадию минералообразования, о чем свидетельствует наличие в нем большого количества азотно-жидких включений, где газ занимает от 80 до 95% объема вазуоли. Топаз вблизи рудных жил чаще всего более крупнокристаллический, эжели вдали от жил. Но бывают и обратные соотношения, когда жилой граничит мелкозернистая топазовая оторочка. Часто топаз в этих грейзенах образует лучшие скопления. Размер зерен колеблется от долей миллиметра до 1—1,5 мм, иногда до 3 мм. Цвет топаза меняется от бесцветного, прозрачного, голубовато-серого до белого, но чаще всего он белого цвета. Форма кристаллов топаза в грейзенах почти всюду одна та же — призматическая, т. е. образованная одной простой формой — комбинацией ромбических призм (рис. 4—6). Таким образом, наиболее характерными обликowymi гранями топаза в грейзенах являются  $m$  (110),  $l$  (120) и  $y$  (021).

Химический состав топаза в околожильных грейзенах, образующихся за счет гранита, так и за счет песчанико-сланцевых пород, отличается от топаза рудных жил большим содержанием фтора и меньшим содержанием воды — примерно на 2,2% (табл. I). Мощность околожильных

грейзеновых оторочек, в которых встречается топаз, равна 6—7 мм, иногда 10 мм.

Таблица 1

Химические анализы топаза<sup>1</sup>

Оксиды	Топаз из околожильных грейзенов, образовавшихся за счет песчанико-сланцевых пород		Топаз первой генерации из касситерит-топазово-кварцевых жил, залегающих в грейзенизированных песчанико-сланцевых породах	
	вес. %	молекулярное количество	вес. %	молекулярное количество
SiO <sub>2</sub>	34,12	0,568	33,78	0,562
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	52,24	0,512	53,97	0,530
F	17,00	0,895	15,00	0,840
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	1,47	0,081	3,25	0,180
TiO <sub>2</sub>	0,24	—	Не обнаружен	—
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,23	—	0,03	—
MnO	—	—	Не обнаружен	—
MgO	0,28	—	—	—
CaO	0,36	—	0,17	—
Na <sub>2</sub> O	0,29	0,004	Не обнаружен	—
K <sub>2</sub> O	0,34	0,003	Не обнаружен	—
Сумма	106,57		106,0	—
Поправка на F	7,15		6,70	
Сумма	99,42		99,5	
Уд. вес топаза	3,50		3,64	
Химическая формула топаза, полученная в результате пересчета химанализа:				
Al <sub>2</sub> [F, OH] <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ]			Al <sub>2</sub> [F, OH] <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ]	

<sup>1</sup> Химический анализ топаза выполнен в геохимической лаборатории МГРИ аналитиком Г. В. Соколовой.

При грейзенизации кварцевых порфиров, плагиогранит-порфиров, сферолитовых порфиров и пегматитов вблизи рудных жил также образуется топаз в виде мелкозернистых оторочек около самих жил и более крупнозернистых полосок на расстоянии 1,5—2 мм от жилы. Иногда он встречается в виде гнезд среди не полностью замещенных пород. В этих случаях околожильные оторочки грейзенов, в составе которых присутствует топаз, имеют 6—7 мм мощности. Здесь топаз также белый. Он кристаллизуется в виде неправильных зерен размером от 0,5 до 1,5 мм и замещает преимущественно микроклин и реже мусковит, плагиоклаз и кварц. Таким образом, в жильных породах гранитной магмы при их грейзенизации топаз образуется не только за счет замещения слюд (мусковита), но и главным образом непосредственно за счет замещения микроклина и реже — плагиоклаза.

Необходимо отметить еще следующие интересные закономерности. Наблюдения показывают, что основная масса топаза в грейзенах, обра-

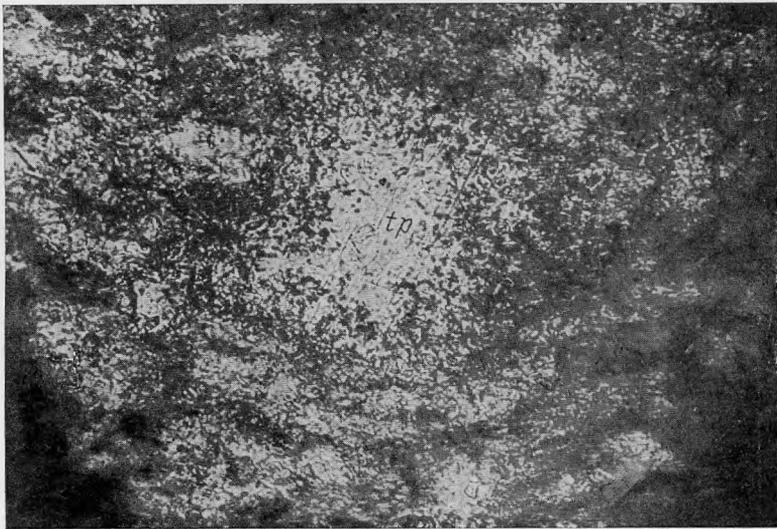


Рис. 7. Метасоматическое замещение глинистого сланца топазом (tp).  $\times 240$ , без анализатора

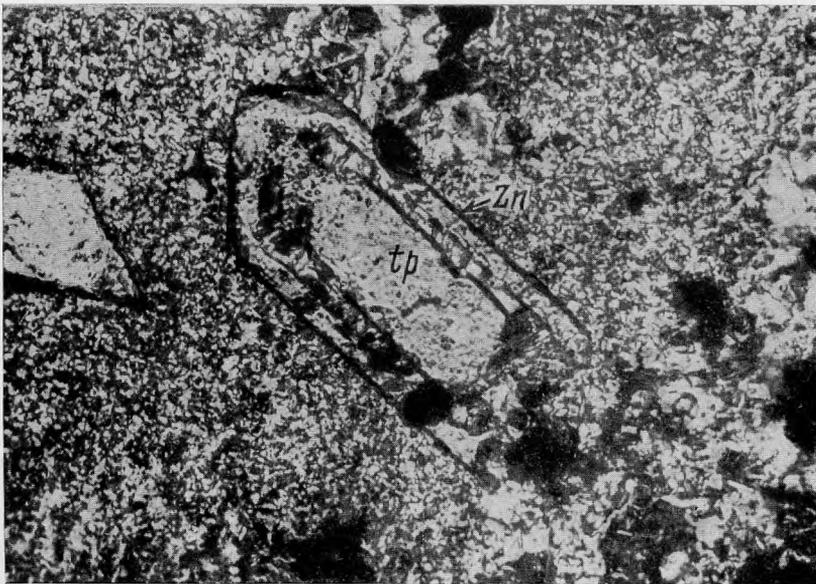


Рис. 8. Метакристалл топаза (tp) с циннвальдитом (Zn) во внутренних зонах.  $\times 145$ , без анализатора

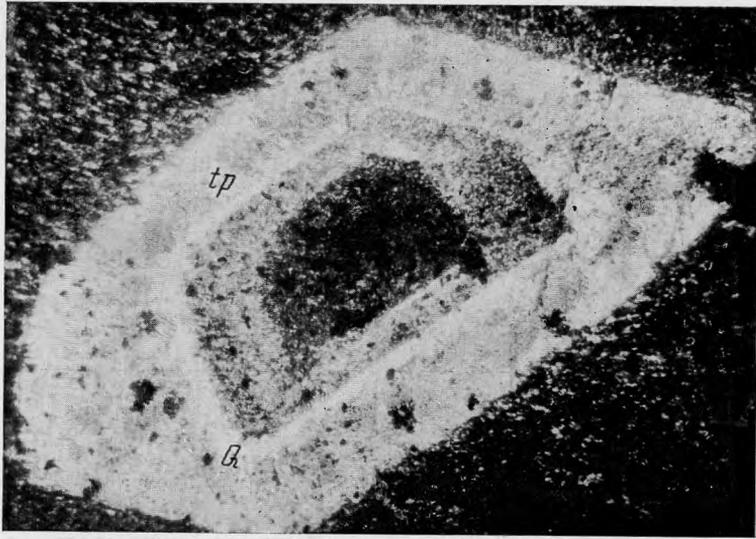


Рис. 9. Зональный метакристалл топаза (tp) с округлыми зернами кварца (Q). Николи +.  $\times 46$

зующихся как за счет гранитов, так и за счет их жильных дериватов, появляется в узких зонах, окаймляющих подводящие каналы, т. е. около самых рудных жил и прожилков. Наиболее распространен топаз в самых верхних частях гранитных массивов. С ним в грейзенах этого типа чаще всего ассоциируют из рудных минералов касситерит, менее — вольфрамит, из нерудных — мусковит, циннвальдит, кварц, флусорит, литийсодержащие мусковит и гидромусковит. При этом последние два развиваются по нему как гипогенные метасоматические минералы. Таким образом, грейзены, в составе которых появляется топаз, обычно образуются за счет мусковитово-кварцевых или кварцево-мусковитовых разновидностей гранитов и являются следующей стадией изменения их жильных дериватов в процессе грейзенизации.

#### **Б. Топаз околожильных грейзенов, образующихся за счет песчанико-сланцевых пород**

Несколько иначе, чем в гранитах и их жильных дериватах происходит образование топаза в алевролитах, глинистых песчаниках и глинисто-углистых сланцах. На контакте с жилой эти породы, как правило, сразу интенсивно замещаются топазом, минуя стадию мусковитизации. Топаз в них часто образует сплошные мелкозернистые массы (размер зерен — сотые и тысячные доли миллиметра), которые почти целиком замещают исходные породы. Главным образом замещаются в этих породах глинистый цемент и обломки полевых шпатов. Мощность топазовых полос разнообразна, но не превышает 3—4 мм. Обычно непосредственно за полосой сплошного топаза следует полоса, состоящая из более крупных зерен топаза, листочков циннвальдита, касситерита, иногда вольфрамита и других минералов. Еще далее от контакта количество топаза постепенно уменьшается.

Топаз кристаллизуется и в виде идиоморфных, разобщенных друг от друга кристаллов (см. рис. 4), иногда группирующихся в небольшие скопления. Необходимо отметить, что форма кристаллов топаза в песчанико-сланцевых породах также призматическая, образованная одной простой формой, т. е. комбинацией ромбических призм. Сам процесс зарождения кристаллов очень характерен для метакристаллов, кристаллизующихся в неоднородной среде и в стесненных условиях. Часто в кристаллах топаза сохраняются округлые реликтовые зерна кварца и углистое вещество. Можно наблюдать зарождение топаза за счет глинистых сланцев. Вначале он зарождается в виде топазовой массы (рис. 7), а затем оформляется в идиоморфные кристаллы. Нередко кристаллы топаза имеют скелетную форму, захватывая сразу несколько минералов цемента (рис. 8 и 9). Они отличаются значительно более крупными размерами, чем обломочные минералы и обломки алевролитов, глинистых песчаников и сланцев. Образование в этих породах большого количества топаза обусловлено, с одной стороны, значительным содержанием в осадочных породах глинозема и кремнезема и, с другой — большим привнесением постмагматическими растворами фтора и воды.

Таким образом, в зависимости от особенностей состава околожильных пород и состава привнесенных компонентов метасоматическим путем может образоваться ряд минералов, в том числе и топаз. При этом образование его в песчанико-сланцевых породах, так же как и в гранитах, происходило в пневматолитическую стадию, о чем свидетельствуют газово-жидкие включения в топазе, в которых объем газа занимает 70—80%.

Размеры выделений топаза колеблются от сотых долей миллиметра до 0,2—0,3 мм. Топаз в этих грейзенах также белого цвета, но бывает

и бесцветным, полупрозрачным. Химический анализ топаза околожилльных грейзенов, образующихся за счет песчанико-сланцевых пород, показал большее содержание в нем фтора и меньшее содержание воды, нежели в топазе рудных жил (см. табл. I). В грейзенах, образующихся за счет алевролитов, глинистых песчаников и глинисто-углистых сланцев, главная масса топаза также располагается в узких зонах, т. е. около самих рудных жил и прожилков. Но часть топаза иногда встречается и в роговиках экзоконтактных зон амазонитовых гранитов и гранит-порфиров. В грейзенах, образующихся за счет осадочных пород, с топазом ассоциируют из рудных минералов чаще касситерит, реже вольфрамит и из нерудных — мусковит, циннвальдит, кварц, флюорит, турмалин. Такие минералы, как флюорит, кварц и мусковит, нередко метасоматически замещают топаз, о чем будет сказано ниже. Эти грейзены более мелкозернисты, чем грейзены, образующиеся за счет гранитов.

Одна из основных особенностей генезиса топаза в грейзенах, образующихся за счет песчанико-сланцевых пород, заключается в том, что топаз возникает сразу метасоматическим путем за счет цемента и обломочных минералов указанных пород (главным образом полевых шпатов) под воздействием летучих компонентов (фтора и воды), минуя стадию мусковитизации. Но иногда топаз образуется здесь и по мусковиту, т. е. за счет уже грейзенизированных разностей указанных пород.

### ТОПАЗ РУДНЫХ ЖИЛ, ПРОЖИЛКОВ И ЛИНЗ

Условия образования топаза в рудных жилах, прожилках и линзах, залегающих в грейзенизированных гранитах и грейзенизированных песчанико-сланцевых породах, различны. Поэтому описание топаза для этих случаев также приводится отдельно.

#### А. Топаз рудных жил, прожилков и линз, залегающих в грейзенизированных биотитовых гранитах

В рудных жилах, прожилках и линзах топаз образуется во вторую стадию минералообразования и не встречается среди минералов первой стадии. Первая стадия здесь представлена обычно кварцем, мусковитом, вольфрамитом, в меньшей степени — касситеритом и другими минералами. На минералы первой стадии накладываются касситерит-топазово-кварцевые прожилки и линзы второй стадии минералообразования, причем топаз в этих прожилках и линзах встречается довольно часто, но не повсеместно и обычно приурочен к наиболее сильно нарушенным местам жил первой стадии и к окружающему их грейзену (рис. 10 и 11). Он проникает не только по крупным, но и по тончайшим трещинкам в кварц, вольфрамит и касситерит первой стадии, иногда образуя прихотливой формы разветвления в жиле. Проникая в жилы первой стадии, топаз замещает в них кварц, касситерит (рис. 12), вольфрамит (рис. 13) или нарастает на обломки этих минералов. В этих случаях топаз чаще всего чрезвычайно мелкозернистый (размер зерен менее 0,8 мм), очень редко присутствует в виде крупных (до 1,5 см) кристаллов. В случае проникновения по тончайшим трещинкам топаз кристаллизуется в них в виде мелких зерен с неровными очертаниями, а в более крупных трещинках и зонах дробления — в виде длиннопризматических тонких кристаллов. Иногда его кристаллы сростаются в лучистые агрегаты. Размер кристаллов топаза в таких участках увеличивается до 1—1,5 мм. Чаще всего топаз в жилах окрашен в белый цвет; крупные кристаллы топаза бывают полупрозрачными.

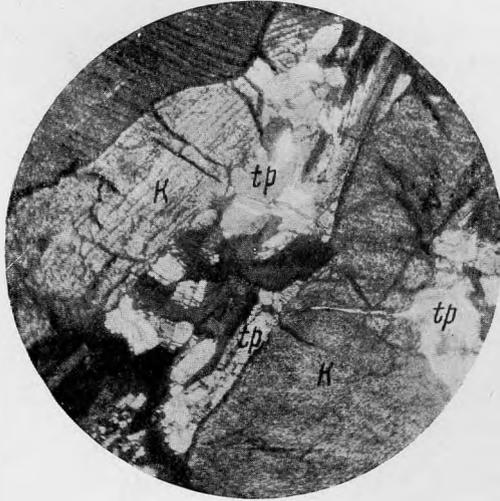


Рис. 12. Лучистый топаз (tp) нарастает на касситерит (K) I стадии и корродирует его.  
Николи +.  $\times 60$

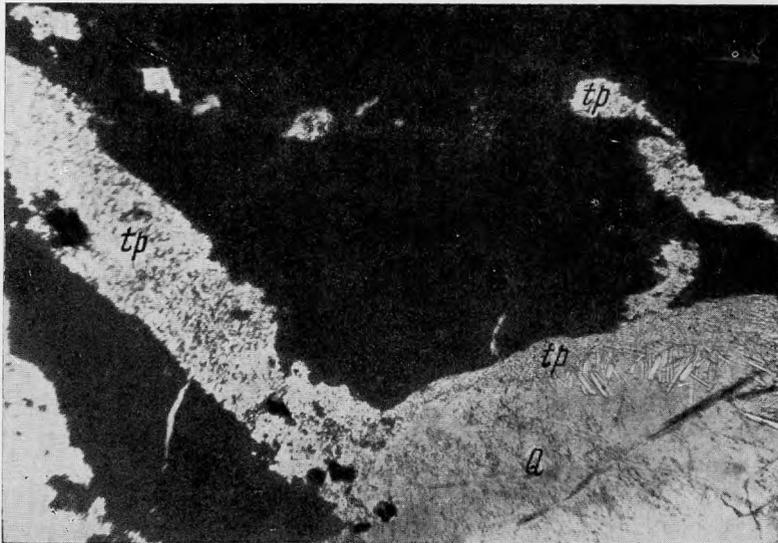


Рис. 13. Вольфрамит (черное) I стадии замещается топазом II стадии (tp). Q — кварц.  $\times 80$ , без анализатора

Заполнение трещин топазом и сопутствующими минералами второй стадии происходило различным образом. Так, при заполнении трещин

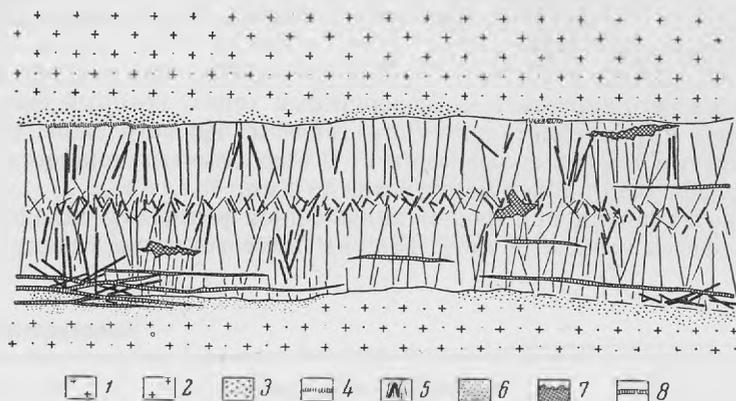


Рис. 10. Схематическая зарисовка строения рудной жилы:

1 — граниты биотитовые крупнозернистые; 2 — граниты двуслоидные (грейзенизированные); 3 — грейзен мусковитово-кварцевый; 4 — оторочка мусковита в завальбандах жилы; 5 — кварц гребенчатый с вольфрамитом I стадии; 6 — грейзен топазовый; 7 — гнезда арсенопирита с вольфрамитом II стадии; 8 — просечки белого топаза и кварца II стадии

с примерно параллельными стенками наблюдаются следующие взаимоотношения между топазом и сопровождающими минералами:

а) топаз вместе с касситеритом или кварцем второй стадии целиком заполняют трещину; оба минерала ксеноморфны по отношению друг к

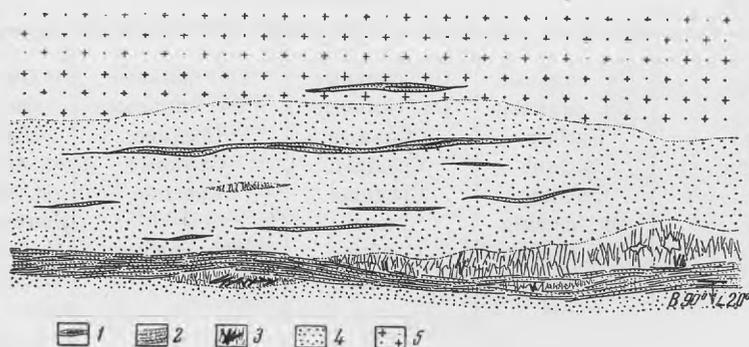


Рис. 11. Схематическая зарисовка строения зоны оловоносного грейзена:

1 — линзовидные прожилки топаза с кварцем, мусковитом и касситеритом; 2 — грейзен топазовый с касситеритом. Развивается вдоль зоны трещиноватости; 3 — кварц крупнокристаллический гребенчатый с вольфрамитом; 4 — грейзен мусковитово-кварцевый; 5 — гранит мусковитовый (грейзенизированный)

другу; в этом случае все эти минералы, очевидно, кристаллизовались в трещинах одновременно;

б) топаз нарастает на стенки трещин, а кварц, мусковит и касситерит заполняют центральную часть их; здесь, повидимому, наблюдается некоторая последовательность в их образовании;

в) нередко прожилки топаза почти мономинеральны и содержат только небольшое количество касситерита или реже — вольфрамита второй стадии. В центре этих прожилков топаз более крупнокристаллический, чем в зальбандах, и целиком заполняет трещинки или в центре оставляет незаполненное пространство;

г) в более редких случаях на стенки трещин сначала нарастает мусковит, затем на него нарастает мелкозернистый топаз, который быстро сменяется более крупнокристаллическим топазом. На него снова нарастает мелкозернистый топаз с вольфрамитом. В этих случаях мощность описанных зон колеблется от долей миллиметра до 3 мм.

В случае же заполнения трещин линзовидной формы строение прожилка чаще получается асимметричное. Так, на более вогнутую стенку сначала

## Спектральные анализы

Исходные породы, за счет которых образуются грейзены	За счет биотитовых гранитов			За счет пегматитов
	Месторождение № 1			Месторождение № 6
№ месторождения	Обр. 87-а			Обр. 55
№ образца	Обр. 87-а	Обр. 89-а	Обр. 91	Обр. 55
Название грейзена	Топазовый грейзен			Кварцево-мусковитовый грейзен
Цвет топаза	Белого цвета		Голубого цвета, непрозрачный	Белого
Элементы	Интенсивность линий			
Al	Оч. сильные	Оч. сильные	Оч. сильные	Оч. сильные
Si	Оч. сильные	Оч. сильные	Оч. сильные	Оч. сильные
Ca	Слабые	Сильные	Средние	Оч. слабые
Mg	Средние	Средние	Сильные	Средние
Fe	Средние	Средние	Средние	Средние
Sn	Оч. слабые	Следы	—	Ничтожные следы
Mn	Оч. слабые	Слабые	Оч. слабые	Слабые
Ti	—	Следы	—	Слабые
Zr	—	—	—	—
W	—	—	—	—
Na	Слабые	—	—	—
Pb	—	—	—	—
V	—	—	—	—
Sr	—	—	—	—
Cr	—	—	—	—
Cu	Оч. слабые	Оч. слабые	Следы	Следы
Ga	—	—	—	—
As	—	—	—	—
Mo	—	—	—	—
Bi	—	—	—	—
In	—	—	—	—
P	—	—	—	—

нарастает чрезвычайно мелкозернистый (тысячные доли миллиметра) топаз в виде узкой каемочки (сотые доли миллиметра), на которую нарастают более или менее крупные кристаллы топаза, суженные у основания и расширяющиеся к вершине. На них нарастает касситерит или кварц и примыкает к противоположной стенке трещины. В других местах касситерит отсутствует, и топаз не всегда полностью заполняет трещины.

В случае брекчирования жил первой стадии в некоторых местах обломки минералов сначала также обрастают чрезвычайно мелкозернистым топазом, а затем более крупнокристаллическим, на который в свою очередь вновь нарастают мелкозернистый топаз с арсенопиритом. Последний заполняет все оставшееся пространство между обломками минералов

Таблица II

топаза из грейзенов

За счет алевролитов				
Месторождение № 2			Месторождение № 5	
Обр. 53	Обр. 54-а	Обр. 56-б	Проба 36	Проба 36-а
Топазовый грейзен	Грейзенизированный алевродит	Грейзенизированный алевродит	Кварцево-топазовый грейзен	
цвета			Белого цвета	
Интенсивность линий				
Оч. сильные	Сильные	Сильные	Сильные	Оч. сильные
Сильные	Сильные	Сильные	Оч. сильные	Оч. сильные
Слабые	Средние	Слабые	Сильные	Оч. сильные
Выше средних	Слабые	Средние	Слабые	Сильные
Слабые	Слабые	Средние	Средние	Выше средних
Средние	Ничтожные следы	Слабые	—	Ничтожные следы
Слабые	Слабые	Слабые	Следы	Слабые
Слабые	Слабые	Слабые	Оч. слабые	Выше средних
Оч. слабые	Слабые	Слабые	—	Средние
Следы	—	Слабые	—	—
—	—	—	—	—
Следы	—	Следы	—	—
Оч. слабые	—	Оч. слабые	—	Слабые
Следы	—	Ничтожные следы	Слабые	Оч. слабые
Следы	—	Следы	—	Следы
—	—	—	—	Следы
Ничтожные следы	—	—	—	Следы
—	—	—	Оч. слабые	Средние
—	—	—	—	Следы
—	—	—	—	Следы
—	—	—	—	Следы
—	—	—	—	Средние

первой стадии. Таким образом возникает брекчиевая текстура, иногда на-  
поминающая кокардовую.

В местах, где расстояние между обломками меньше, длиннопризматический топаз ориентируется параллельно границам обломков и нарастает на них гранями призмы, а промежутки между зернами топаза заполняются кварцем, касситеритом, мусковитом, арсенопиритом, пиритом, сфалеритом, халькопиритом, бенжаминитом, галенитом и различными вторичными минералами по некоторым из них. Здесь необходимо подчеркнуть, что с топазом ассоциируют главным образом касситерит и в меньшей степени—вольфрамит.

Спектральный анализ топаза обнаружил в нем значительное количество примесей (табл. II). При этом бесцветный полупрозрачный топаз является более чистым: из примесей в нем обнаружены только железо, магний, марганец, кальций, медь, мышьяк и др.

Белый мелкозернистый топаз содержит большое количество примесей, таких, как магний, железо, марганец, олово, свинец, серебро, кальций, вольфрам, титан, медь, галлий, мышьяк, висмут, молибден и др. При этом одни элементы-примеси в топазе заимствованы им из минералов, в результате замещения которых он образовался, а другие элементы-примеси отражают состав минералов, кристаллизующихся вместе с топазом. Такие элементы-примеси, как галлий, являются постоянными примесями топаза, независимо от условий его образования.

В заключение следует подчеркнуть, что топаз в жилах, залегающих в грейзенизированных гранитах, образуется во вторую стадию, т. е. когда первая стадия минералообразования закончилась и когда уже образовались околожильные кварцево-мусковитовые грейзены. В результате в процессе мусковитизации гранитов в грейзенах накопилось большое количество глинозема. Во вторую стадию минералообразования происходила переработка ранее образованных грейзенов в топазовые грейзены с выносом части глинозема в полость трещины, где он при наличии большого количества фтора в постмагматических растворах связывался в форме топаза.

### Б. Топаз рудных жил, залегающих в песчанико-сланцевых породах

#### а) Касситерит-топазово-кварцевые жилы, связанные с амазонитовыми гранитами

В этих жилах топаз представлен тремя генерациями.

Топаз первой генерации — один из главных жильных минералов, особенно в пологопадающих жилах, на контакте с которыми метасоматическое замещение глинистого цемента и обломочных минералов песчанико-сланцевых пород под влиянием высокотемпературных растворов проявилось более интенсивно. Здесь в отдельных жилах топаз почти целиком слагает значительные по размерам участки жил. Но главная масса топаза первой генерации кристаллизуется в зальбандах жил, причем сначала образуется очень тонкая (несколько миллиметров и тоньше) мелкозернистая оторочка топаза, на которую нарастают крупные шестоватые кристаллы топаза с касситеритом и кварцем, суженные у основания и расширяющиеся по направлению к центру жилы. В этом случае кристаллы топаза тесно срастаются друг с другом по неровной границе и образуют веерообразные агрегаты.

Наиболее часто топаз первой генерации ассоциирует с касситеритом, который или кристаллизуется параллельно с топазом в тех же лучистых

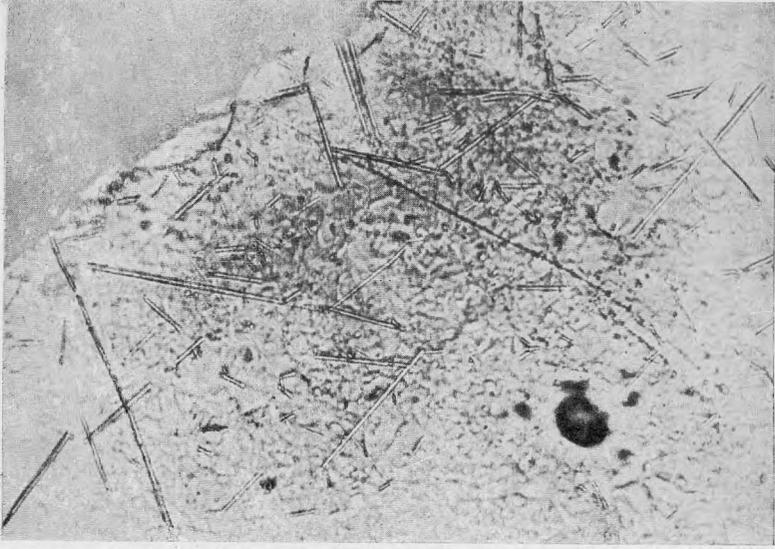


Рис. 14. Игольчатый топаз образует включения в кварце первой генерации.  $\times 145$ , без анализатора

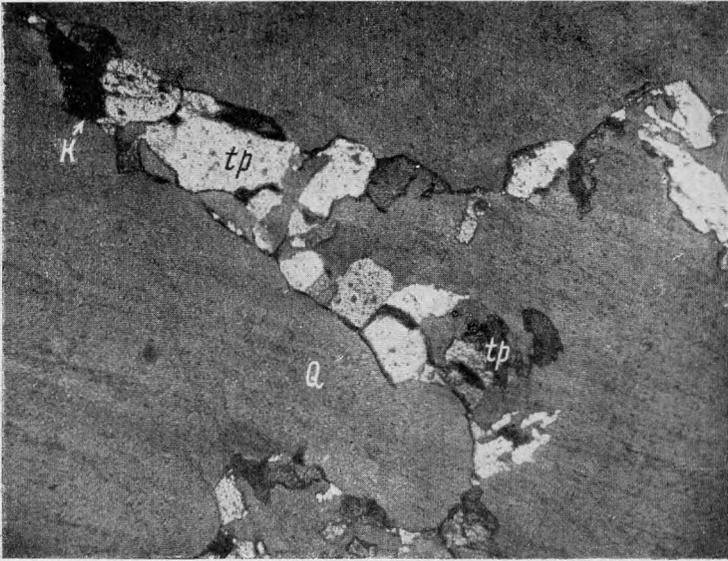


Рис. 15. Топаз (tp) и касситерит (K) второй генерации заполняют трещинки в кварце (Q) первой генерации и замещают его. Николи+.  $\times 20$

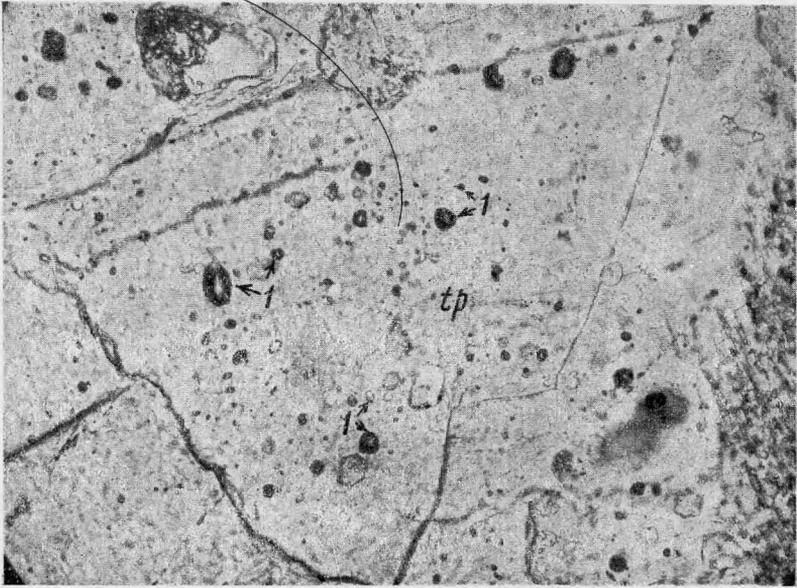


Рис. 16. Газово-жидкие включения (I) в топазе (tp).  $\times 150$   
без анализатора

агрегатах, или располагается в основании их, или же нарастает на топаз. В этих агрегатах касситерит всегда, а топаз лишь иногда имеют зональное строение, причем зональность топаза обусловлена газово-жидкими включениями, где зоны топаза без газово-жидких включений чередуются с зонами, насыщенными ими. Необходимо отметить, что внутренние части топаза содержат значительно больше мельчайших газово-жидких включений, а внешние чаще свободны от них.

Топаз также тесно связан и с кварцем первой генерации. В этих случаях топаз и кварц или взаимно прорастают друг друга червеобразными вростками, или же кварц вместе с циннвальдитом первой генерации заполняет промежутки между кристаллами топаза, или топаз нарастает на идиоморфные кристаллы кварца первой генерации, или образует включения в нем (рис. 14).

Топаз часто катаклазирован, разбит трещинками на тонкие пластинки, причем одни трещины ориентированы перпендикулярно к контакту жил, другие параллельно; последние более протяженны. Эти многочисленные трещинки в топазе первой генерации заполнены топазом, касситеритом, циннвальдитом, кварцем второй генерации, флюоритом и сидеритом, а также разнообразными сульфидами: станнином, сфалеритом, халькопиритом, пиритом, арсенопиритом, галенитом. В некоторых случаях топаз сильно брекчирован, и обломки его также сцементированы более поздними (перечисленными выше) минералами.

Кроме того, топаз слагает ацофизы жил и тонкие прожилки, параллельные крупным жилам. Эти прожилки иногда секутся и смещаются кварцевыми прожилками с сульфидами, а также кварцево-альбитовыми прожилками, которые в свою очередь секутся прожилками кварца с просечками фиолетового флюорита.

Пустоты в топазе заполнены литийсодержащим мусковитом по периферии и флюоритом в центре. Топаз в кварцево-полевошпатовых жилах охотно замещает полевые шпаты. Топаз первой генерации белого цвета. Химический состав топаза первой генерации из рудных жил отличается от химического состава топаза околожильных грейзенов более низким содержанием фтора и большим содержанием воды (см. табл. I).

Топаз второй генерации по внешнему виду ничем не отличается от топаза первой генерации, он только более мелкозернистый (десятые доли миллиметра). Вместе с другими минералами, также второй генерации, он проникает по многочисленным трещинкам ранее образовавшихся минералов жил и вмещающих пород. Проникая по трещинкам кварца первой генерации, топаз второй генерации корродирует его, расчленяет кварц на мелкие зерна с округлыми краями и, очевидно, частично корродирует и замещает кварц (рис. 15). Топаз второй генерации образует местами много зубчатых прожилков, параллельных контактам жил и друг другу. Эти прожилки часто состоят из звездчатых агрегатов топаза, сростшихся друг с другом. Они образуются в результате обрастания длиннопризматическим топазом мелкозернистого изометричного топаза или скоплений касситерита. Касситерит наблюдается также по границам призматических кристаллов топаза или нарастает на них сверху.

Топаз второй генерации сечет в виде прожилков топаз первой генерации, амазонит, циннвальдит и касситерит первой генерации. Он редко образует идиоморфные кристаллы, обычно зерна его не имеют правильных очертаний, и форма их зависит от взаимоотношения с другими минералами и от формы заполняемой им трещины.

Топаз второй генерации корродируется кварцем второй генерации, проникает по трещинам кварца или содержит включения его, сростается

## Спектральные анализы

Вмещающие породы	Грейзенизированные биотитовые граниты			
№ месторождения	Месторождение № 1			
№ образца	Обр. 304-б	Обр. 443-б	Обр. 50	Обр. 636-а
Тип жилы	Касситеритово-			
Генерации топаза	Первой генерации			
Цвет топаза	Полупрозрачный крупнокристаллический	Бесцветный	Белый, мелкозернистый	Белый, мелкозернистый
Элементы	Интенсив			
Al	Сильные	Оч. сильные	Оч. сильные	Оч. сильные
Si	Оч. сильные	Сильные	Оч. сильные	Сильные
Fe	Оч. сильные	Слабые	Средние	Средние
Ca	Слабые	Следы	Слабые	—
Mg	Слабые	Слабые	Средние	—
Na	—	—	—	—
Sn	—	—	Следы	Слабые
Mn	Слабые	—	Слабые	Слабые
Ti	—	—	Оч. слабые	Оч. слабые
Zr	—	—	—	—
W	—	—	Оч. слабые	—
Pb	—	—	Средние	Ничтожные следы
V	—	—	—	—
Sr	—	—	—	—
Cr	—	—	—	—
Mo	—	—	—	—
Cu	—	—	Оч. слабые	Ничтожные следы
Ga	—	—	Следы	—
As	Следы	—	—	—
Ag	—	—	Слабые	Средние
Bi	—	—	Следы	—
P	—	—	—	—
Sb	—	—	—	—
Li	—	—	—	—
Ni	—	—	—	—
Ba	—	—	—	—

Таблица III

топаза из рудных жил

Грейзенизированные алевриты					
Месторождение № 2					
Обр. 535	Обр. 189	Обр. 309-а	Обр. 425	Обр. 523	Обр. 26-а
топазово-кварцевые					
Первой генерации		Второй генерации			Третьей генерации
Белый		Белый			Бесцветный
ность линий					
Сильные	Оч. сильные	Выше средних	Сильные	Выше средних	Оч. сильные
Сильные	Оч. сильные	Сильные	Сильные	Выше средних	Сильные
Выше средних	—	Слабые	Оч. слабые	Следы	—
Средние	Следы	Слабые	Средние	—	Средние
Слабые	—	Слабые	Слабые	Следы	Слабые
—	—	—	Средние	—	—
Следы	Слабые	Оч. слабые	—	—	Ничтожные следы
Следы	Ничтожные следы	Оч. слабые	Следы	—	Ничтожные следы
Следы	Оч. слабые	—	Следы	—	—
—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—
Слабые	Оч. слабые	Ничтожные следы	Ничтожные следы	Следы	—
—	—	—	—	—	—
Оч. слабые	—	—	Слабые	—	—
—	—	—	—	—	—
Следы	—	—	—	—	—
Следы	Следы	Ничтожные следы	Ничтожные следы	Ничтожные следы	Ничтожные следы
Оч. слабые	Следы	—	—	—	—
Слабые	—	Следы	Следы	—	—
—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—

Вмещающие породы	Грейзенизированные алевры			
	Месторожде			
№ месторождения	Обр. 466	Обр. 93-а	Обр. 1094	Обр. 1152-а
№ образца				
Тип жилы	Касситерит-флюоритово-			
Генерации топаза	Первой гене			
Цвет топаза	Бе			
Элементы	Интенсив			
Al	Оч. сильные	Сильные	Оч. сильные	Оч. сильные
Si	Оч. сильные	Выше средних	Оч. сильные	Оч. сильные
Fe	Средние	Средние	Выше средних	Выше средних
Ca	Слабые	Сильные	Выше средних	Выше средних
Mg	Средние	Оч. слабые	Средние	Средние
Na	—	—	—	—
Sn	—	—	—	Ничтожные следы
Mn	Ничтожные следы	Ничтожные следы	Слабые	Следы
Ti	Следы	Следы	Следы	Оч. слабые
Zr	—	—	—	—
W	—	—	—	—
Pb	Слабые	—	Ничтожные следы	Средние
V	Следы	—	Ничтожные следы	Следы
Sr	—	—	—	—
Cr	—	—	—	Ничтожные следы
Mo	—	—	Следы	Ничтожные следы
Cu	Следы	—	Следы	Следы
Ga	—	—	Ничтожные следы	—
As	Слабые	Следы	—	Средние
Ag	—	—	—	—
Bi	Следы	—	Оч. слабые	Слабые
P	Выше средних	—	—	Средние
Sb	—	—	—	Следы
Li	—	—	—	—
Ni	—	—	—	—
Ba	—	—	—	—

Таблица III (окончание)

литы и глинистые сланцы				
гне № 5		Месторождение № 3		
Обр. 466-а	Обр. 3	Обр. 296	Обр. 919	Обр. 250
топазовые		Касситерит-мусковитово-топазовые		Хлорит-флюоритово-сульфидные
рации	Второй генерации	Первой генерации		Второй генерации
лый	Бесцветный	Белый		
ность линий				
Оч. сильные	Сильные	Оч. сильные	Оч. сильные	Оч. сильные
Оч. сильные	Сильные	Сильные	Оч. сильные	Оч. сильные
Оч. сильные	Сильные	Средние	Сильные	Сильные
Слабые	Выше средних	Выше средних	Сильные	Сильные
Средние	Слабые	Средние	Выше средних	Сильные
—	—	—	—	Выше средних
—	—	—	Средние	Оч. слабые
Ничтожные следы	—	Оч. слабые	Слабые	Слабые
Следы	Оч. слабые	Следы	Следы	Оч. слабые
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
С	—	—	—	Ничтожные следы
Следы	—	—	Ничтожные следы	Следы
—	—	—	Оч. слабые	Слабые
—	—	—	Оч. слабые	—
—	—	—	Следы	—
Следы	Ничтожные следы	Ничтожные следы	Оч. слабые	Оч. слабые
—	—	—	Ничтожные следы	Следы
Слабые	Оч. слабые	—	—	Следы
—	—	—	—	—
Следы	—	—	—	—
Выше средних	—	Средние	Выше средних	—
—	—	—	—	—
—	—	—	Слабые	Средние
—	—	—	Следы	—
—	—	—	—	Средние

с ним по неровной границе. Топаз второй генерации еще теснее, чем топаз первой генерации, связан с касситеритом и циннвальдитом второй генерации. Взаимоотношения топаза второй генерации с касситеритом второй генерации чаще бывают неясны, так как оба эти минерала образуют тесные взаимные сростания друг с другом, циннвальдит же обычно встречается по трещинкам в топазе, так же как и сульфиды. По количеству топаз второй генерации значительно уступает топазу первой генерации.

Топаз третьей генерации встречается в пустотах и тонких, коротких трещинках, секущих рудные жилы и грейзены. Он обычно образует небольшие (до 3—4 мм) бесцветные прозрачные или полупрозрачные кристаллы, нарастающие на стенки пустот и трещин в амазоните, кварце, топазе первой генерации и в грейзенах. Промежутки между кристаллами топаза или остаются незаполненными, или заполняются фиолетовым флюоритом, циннвальдитом, каолинитом. Очень редко на границах кристаллов топаза третьей генерации нарастает светлокоричневый касситерит третьей генерации. Иногда же кристаллы топаза этой генерации нарастают на флюорит. Количество топаза третьей генерации ничтожно по сравнению не только с первой, но и со второй генерацией топаза.

Спектральные анализы топазов всех трех генераций показали результаты, данные о которых приведены в табл. III.

Постоянными элементами-примесями во всех генерациях топаза являются магний, кальций, олово, марганец, медь, железо. В топазах первой и второй генераций обнаружены мышьяк, свинец, стронций, галлий, титан, которые отсутствуют в топазе третьей генерации. Молибден обнаружен только в топазе первой генерации, а натрий — только в топазе второй генерации. Таким образом, в топазе присутствуют элементы-примеси, которые участвуют в строении минералов, кристаллизующихся вместе с топазом. Присутствие олова, вероятно, в виде касситерита в топазе всех трех генераций указывает также на тесную связь касситерита с топазом.

**б) Касситерит-мусковито-топазовые, хлорит-флюоритово-сульфидные и флюоритово-альбитовые прожилки, а также прожилки шестоватого кварца в касситеритово-кварцевой формации (штокверкового типа), связанные с гранит-порфирами**

Топаз в рудных прожилках этого типа кристаллизовался в течение нескольких стадий минералообразования и представлен в разных стадиях одной или двумя генерациями.

#### *Касситерит-мусковитово-топазовая стадия минералообразования (третья стадия)*

В этой стадии топаз представлен двумя генерациями.

Топаз первой генерации резко преобладает над топазом второй генерации. Он окрашен в молочно-белый цвет. Кристаллы топаза имеют сильно вытянутую призму и местами образуют лучистые агрегаты, нарастая на обломки вмещающих пород или на небольшие скопления мелкозернистого топаза. Реже топаз нарастает на касситерит, арсенопирит и еще реже на кварц. Размер кристаллов топаза не превышает 5 мм. Топаз или целиком слагает прожилки, или кристаллизуется в зальбандах в виде оторочки мощностью от долей миллиметра до 8 мм.

По простиранию прожилков топаз часто сменяется кварцем, мусковитом или касситеритом. В том случае, если топаз целиком слагает прожилок или большую часть его, сначала в зальбанде образуется мелкокристаллический (0,01 мм) топаз в виде узкой полосы, обычно тесно связанный с топазом вмещающих околожилльных измененных пород (грейзенизированных

ных сланцев или алевролитов), а затем на эту полосу нарастает более крупнокристаллический топаз. Большинство кристаллов топаза, особенно те, которые подверглись замещению, содержат газово-жидкие включения различной формы, обычно располагающиеся зонами и полосами, ориентированными под углом или перпендикулярно контактам рудных прожилков.

Все газово-жидкие включения в топазе можно разделить на 4 группы по объему газового пузырька в них: 1) пузырек газа занимает 80—90 % объема вакуоли; 2) пузырек газа занимает 50 %; 3) пузырек газа занимает 25—30 % и 4) пузырек газа занимает 10 % (рис. 16). Такие соотношения газовой и жидкой фаз в вакуолях газово-жидких включений, находящихся в топазе, говорят о том, что его кристаллизация и метасоматические изменения происходили в разных условиях. Очень редко в вакуолях можно наблюдать кристаллы топаза (рис. 17). Сам топаз кристаллизовался в пневматолитическую стадию, а позднейшие метасоматические изменения топаза происходили преимущественно в гидротермальную стадию.

Из взаимоотношения топаза с другими минералами можно сделать вывод, что топаз образуется в эту стадию первым и кристаллизуется вместе с кварцем, касситеритом, большая часть которых его корродирует. Из важных закономерностей для условий образования топаза в этом месторождении нужно отметить следующую. Топаз появляется только в тех местах рудных прожилков, где они контактируют с богатыми глиноземом песчанико-сланцевыми породами. Отсюда можно сделать вывод, что образование топаза происходило при взаимодействии постмагматических высокотемпературных растворов с высокоглиноземистыми вмещающими породами.

Спектральный анализ топаза первой генерации показал в нем следующие примеси: кальций, железо, фосфор, магний, олово, литий, марганец, медь, хром, стронций, никель, молибден, титан, галлий и ванадий (см. табл. III). Состав примесей топаза отражает как химический состав тех минералов, которые кристаллизуются с ним вместе и часто бывают включенными в нем, так и химический состав породы, метасоматически замещаемой им.

Топаз второй генерации в этом месторождении в рудных прожилках первой стадии обнаружен только под микроскопом. Он мелкокристаллический (не более 0,01 мм) и кристаллизуется вместе с мусковитом второй генерации, встречается в очень небольшом количестве между зернами кварца первой генерации, во флюорите. Топаз образует включения идиоморфной формы в мусковите.

#### *Хлорит-флюоритово-сульфидная стадия минералообразования (четвертая стадия)*

В этой стадии топаз представлен одной генерацией. Топаз в хлорит-флюоритово-сульфидных прожилках очень редок, но иногда он образует сплошные оторочки в некоторых участках прожилков мощностью не более 0,01 мм. На него нарастают касситерит, арсенопирит, мусковит. Изредка топаз вместе с турмалином образует лучистые агрегаты, состоящие из тонких призматических кристаллов. Цвет топаза белый. В этом топазе много газово-жидких включений, часто располагающихся зонально (рис. 18). Спектральный анализ топаза показал в нем следующие примеси: магний, железо, кальций, натрий, барий, литий, марганец, стронций, титан, медь, олово, ванадий, галлий, мышьяк и свинец.

*Флюоритальбитовая стадия минералообразования  
(пятая стадия)*

Здесь топаз представлен одной генерацией. Он очень редок и обычно замещает обломки мусковитового грейзена (образовавшегося по филлиту) и альбит прожилков. Иногда он при своем росте захватывает и обломки грейзена и альбит. Длиннопризматические кристаллы топаза образуют лучистые агрегаты. Топаз замещает кварц и альбит первой генерации. Обычно вокруг топаза развиваются крупные листочки мусковита.

Прожилки шестоватого кварца  
(седьмая стадия минералообразования)

В этих прожилках топаз очень редок и обнаружен только под микроскопом. Зерна его имеют округлую форму и небольшие размеры (тысячные мм). Топаз замещает мусковит и проникает в него по спайности.

в) Топазовые и биотито-кварцево-топазовые прожилки

В выделениях этого типа топаз встречается в различных по составу прожилках. Иногда он слагает почти мономинеральные прожилки, которые образуются позже микроклиновых прожилков. Топаз замещает как микроклиновые прожилки, так и вмещающие их околожилльные измененные породы (грейзены). В свою очередь топазовые прожилки секутся мусковитовыми прожилками.

Для биотит-кварцево-топазовых прожилков характерно симметричное строение. Мощность прожилков до 1,5 см. В зальбандах их располагается тонкозернистый топаз (мощность зоны тысячные мм). На него нарастает лучистый топаз (мощность зоны 0,3—0,5 мм). В центре прожилков кристаллизуется крупнозернистый (до 1—1,5 мм) кварц, промежутки между зернами которого заполнены мелкозернистым топазом. Этот топаз частично замещает кварц (рис. 19). Биотит наблюдается в основании лучистых агрегатов топаза в виде почти сплошной тонкой полосы. Редко вместе с ним встречается кварц. В лучистом топазе много газовой-жидких включений, количество которых увеличивается к вершине кристаллов. Они очень мелкие и пузырек газа в них занимает почти все пространство вакуоли. В более мощных прожилках описываемого типа в топазе сохраняются реликты альбита (фиг. 20). Очевидно, топазовые прожилки образуются за счет замещения альбитовых.

Помимо прожилков в грейзенизированных алевролитах встречаются линзы топаза с мусковитом, кварцем и молибденитом, заполняющими промежутки между зернами топаза.

г) Касситерит-топазово-кварцевые прожилки, связанные генетически с гранит-порфирами

В этих прожилках топаз представлен двумя генерациями.

Топаз первой генерации слагает прожилки вместе с другими минералами. Взаимоотношения их между собой самые разнообразные; наиболее часто наблюдаются следующие:

1. Топаз в виде мелких и средней величины зерен нарастает на топаз-мусковитово-кварцевый грейзен сплошной оторочкой мощностью от 3 до 7 мм. Промежутки между его зернами заполнены кварцем, флюоритом с сульфидами. В этом случае топаз замещает мусковит и кварц грейзена или окаймляет эти минералы.

2. Топаз образует лучистые агрегаты и вместе с мусковитом нарастает

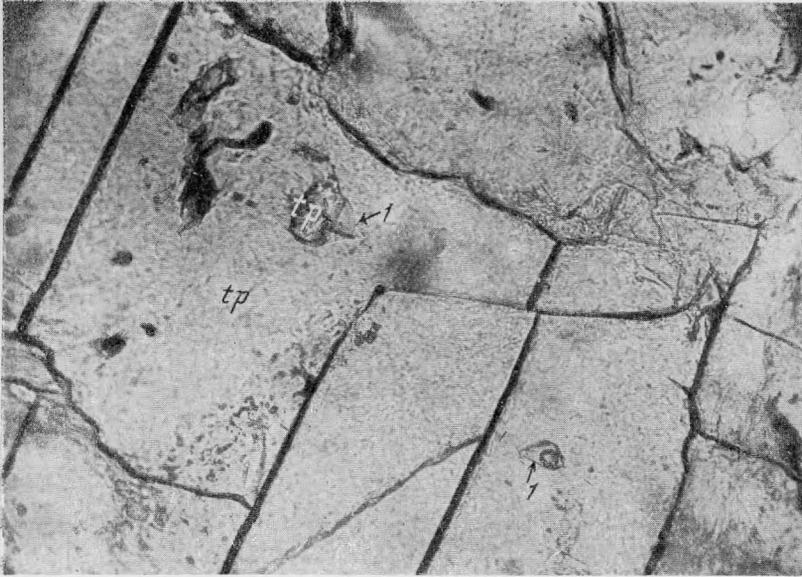


Рис. 17. Кристаллы топаза (tp) в вакуолях газовой-жидких включений (I) в топазе же (tp).  $\times 150$ , без анализатора

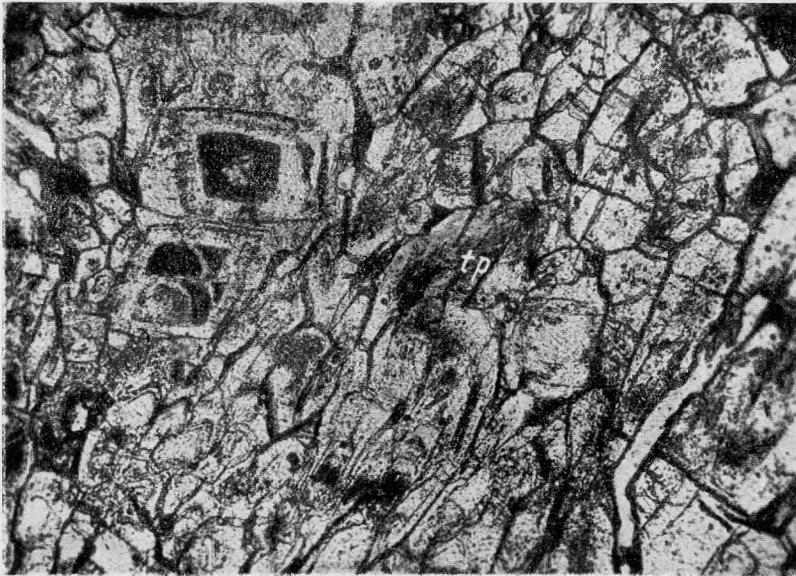


Рис. 18. Зональное расположение газовой-жидких включений (темное) в топазе (tp) турмалиново-топазовых прожилков.  $\times 90$ , без анализатора

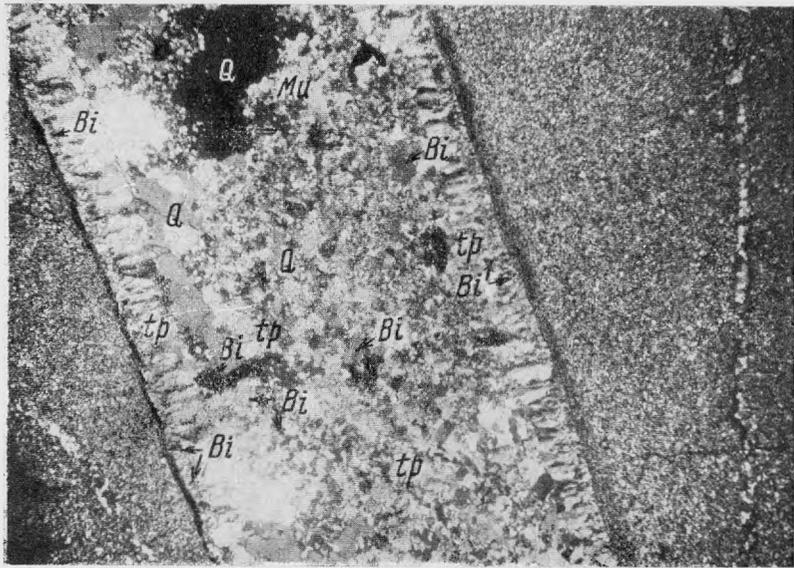


Рис. 19. Биотит кварцево-топазовый прожилок симметричного строения. tp — топаз; Bi — биотит; Q — кварц; Mu — мусковит. Николи +.  $\times 10$

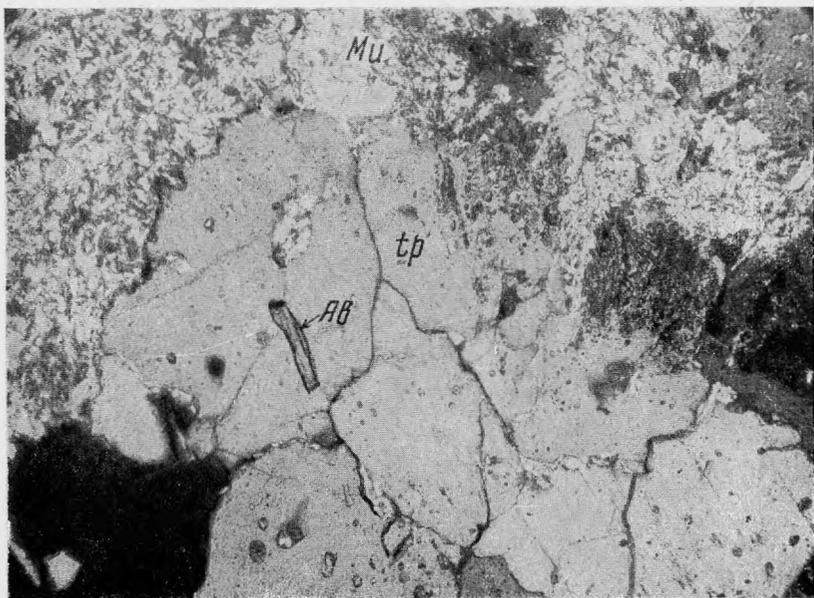


Рис. 20. Редикты альбита (Ab) в топазе (tp); Mu — мусковит. Николи +.  $\times 46$

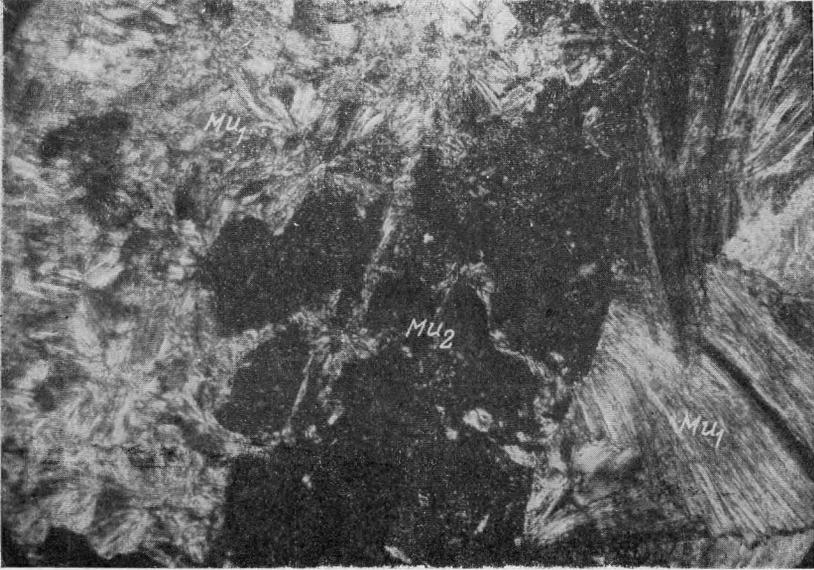


Рис. 23. Топаз пеликом замещен литийсодержащим мусковитом ( $M_1$ ), который, в свою очередь, замещается литийсодержащим гидромусковитом ( $M_2$ ). Николи +.  $\times 40$

на грани кварца и вновь обрастается кварцем. В пустотах крупнозернистый топаз в виде друз нарастает на кварц и замещается мусковитом.

Величина отдельных кристаллов и неправильных выделений топаза колеблется от 0,5 до 3—5 мм.

Хорошо образованные кристаллы среди выделений топаза представляют нередкое явление. Гониметрические исследования некоторых из них (до 8 шт.), произведенные проф. Е. Е. Флинт, показали следующие результаты. Наиболее распространенными гранями, которые можно счи-

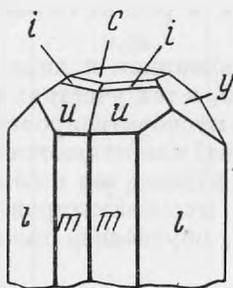


Рис. 21. Кристалл топаза из рудных прожилков:  
 $c$  (001),  $m$  (110),  $l$  (120),  
 $y$  (021),  $u$  (111),  $i$  (223)

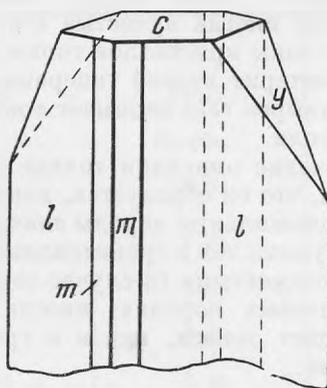


Рис. 22. Кристалл топаза из рудных жил:  
 $c$  (001),  $m$  (110),  $l$  (120),  $y$  (021)

тать обликowymi гранями топаза (рис. 21 и 22), являются пинакоид  $c$  (001), ромбические призмы  $m$  (110),  $l$  (120),  $y$  (021) и ромбические дипирамиды  $u$  (111),  $i$  (223). Кроме того, проф. Е. Е. Флинт указывает на наличие в некоторых кристаллах еще граней ромбической дипирамиды  $o$  (221). Все эти измерения показали, таким образом, что кристаллы топазов рудных жил образованы комбинацией некоторых простых форм и имеют более сложный облик, чем кристаллы топаза грейзенов.

В основном топаз рудных жил этого месторождения белого цвета и только отдельные более крупные его выделения бесцветны и полупрозрачны.

В топазе первой генерации этого месторождения очень много газожидких включений, причем некоторые из них едва различимы. В расположении газожидких включений наблюдаются следующие закономерности: они переполняют внешнюю узкую зону, а во внутренней редки, или сосредоточены в центре кристалла и сходятся лучами, имея одинаковую ориентировку.

Во всех случаях газожидкие включения располагаются в топазе зонами, в пределах которых они образуют причудливо изгибающиеся цепочки. Вследствие этого топаз имеет зональное строение. Как правило, появление газожидких включений в топазе обуславливает его белую окраску. Газожидкие включения в топазе представляют собой в большинстве случаев реликты тех растворов, из которых он сам кристаллизовался, или реликты более поздних растворов, под воздействием которых происходили метасоматические замещения другими минералами: мусковитом, флюоритом и др.

Соотношения газовой и жидкой фаз в газожидких включениях в топазе различны. В одних случаях газ занимает 60% объема вакуоли,

в других — только 30 или 10% объема вакуоли. Обычно насыщенные газом включения захвачены топазом, как мы показали выше, при его кристаллизации, а включения с преобладанием жидкой фазы являются вторичными, проникающими по трещинкам и спайности.

Топаз второй генерации в виде мелких зерен нарастает на крупные (3—4 мм) кристаллы топаза первой генерации вместе с лучистым касситеритом и арсенопиритом. В промежутках между мелкими зернами топаза (размер зерен 0,2—0,3 мм) и в пустотах кристаллизуется также флюорит. Топаз второй генерации бывает и длиннопризматическим, образуя иногда лучистые агрегаты.

Внешние зоны кристаллов топаза второй генерации, на которые нарастает касситерит второй генерации, изобилуют газово-жидкими включениями. Пузырек газа занимает в них 60% и в редких случаях 30—40% объема вакуоли.

В заключение описания топаза жил, прожилков и линз необходимо подчеркнуть, что он образуется, как правило, в тех участках месторождения, где околожилльные породы значительно мусковитизированы (в случае залегания рудных тел в гранитоидных породах) или являются сами по себе высокоглиноземистыми (в случае залегания рудных тел в глинистых песчанико-сланцевых породах, иногда также мусковитизированных).

Белый цвет топаза, как и в грейзенах, обусловлен газово-жидкими включениями.

По сравнению с топазом грейзенов внешне кристаллы топаза более богаты простыми формами. Здесь мы обнаруживаем, кроме комбинаций ромбических призм, еще комбинации, образованные ромбическими призмами и ромбическими дипирамидами. Кристаллы описываемого топаза крупнее и вытянуты в одном направлении.

#### МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ ЗАМЕЩЕНИЯ ТОПАЗА

Как видно из изложенного выше материала, топаз околожилльных грейзенов и рудных тел, образовавшихся чаще всего метасоматическим путем, в дальнейшем, главным образом в гипогенную стадию, сам подвергался метасоматическому замещению, причем эти замещения по своему минералогическому характеру довольно разнообразны и чаще всего обусловлены не столько составом самого топаза, сколько составом метаморфизирующих растворов и околожилльных пород.

Исследования показали, что метасоматические замещения топаза в околожилльных грейзенах и в рудных телах в каждом отдельно взятом месторождении в связи со сходством состава среды, в которой находится топаз, более или менее однотипны. Поэтому описание метасоматических замещений топаза как в грейзенах, так и в рудных жилах приводится совместное. В этом описании выделяются только типы метасоматических замещений, зависящие от типа месторождений, вернее, от химического типа среды в целом.

**а) Метасоматические замещения топаза в топазово-мусковитово-кварцевых и топазово-кварцевых грейзенах, образовавшихся за счет нормальных гранитов, и в топазово-кварцевых прожилках, залегающих среди грейзенизированных биотитовых гранитов**

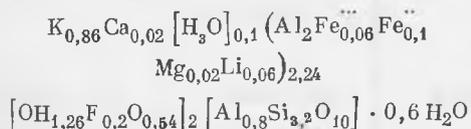
В этом случае топаз главным образом замещается литийсодержащим мусковитом, литийсодержащим гидромусковитом, реже флюоритом и каолинитом и еще реже кварцем и циннвальдитом. В основном изменение

Таблица IV

Химические анализы слюд, развивающихся по топазу

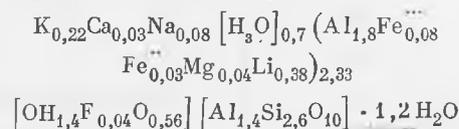
Окислы	Литийсодержащий мусковит, развивающийся непосредственно по топазу		Литийсодержащий гидромусковит, развивающийся по литийсодержащему мусковиту	
	вес. %	молекулярное количество	вес. %	молекулярное количество
SiO <sub>2</sub>	46,58	0,775	38,58	0,642
TiO <sub>2</sub>	0,06	—	Не обн.	—
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33,17	0,325	40,63	0,400
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,78	0,011	1,24	0,008
FeO	2,01	0,027	0,56	0,007
MnO	0,20	0,001	0,05	—
MgO	0,20	0,004	0,40	0,010
CaO	0,32	0,004	0,42	0,008
K <sub>2</sub> O	9,58	0,102	2,09	0,022
Na <sub>2</sub> O	Не обн.	—	0,62	0,01
Li <sub>2</sub> O	0,25	0,008	1,39	0,046
F	1,38	0,073	0,20	0,010
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	4,34	0,240	11,67	0,650
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,36	0,020	2,54	0,140
Сумма	100,23	—	100,39	—
Поправка на F	-0,58		0,08	
Сумма	-99,65		100,31	
Удельный вес	2,75			

Химическая формула, полученная в результате пересчета химанализа



Аналитик Л. В. Букасова  
Геохимическая лаборатория МГРИ

Химическая формула, полученная в результате пересчета химанализа



Аналитик Г. В. Соколова  
Геохимическая лаборатория МГРИ

## Спектральные анализы слюд,

Вмещающие породы	Грейзенизированные			
№ месторождения	Месторожде			
Тип жилы	Касситерито-топазово-			
Название и цвет слюды	Желтый литийсодержащий			
№ образца	Обр. 104	Обр. 70	Обр. 441	Обр. 98
Элементы	Интенсив			
Al	Оч. сильные	Оч. сильные	Оч. сильные	Оч. сильные
Si	Оч. сильные	Оч. сильные	Оч. сильные	Оч. сильные
Fe	Сильные	Оч. сильные	Оч. сильные	Оч. сильные
Ca	Средние	Средние	Слабые	Выше средних
Mg	Оч. сильные	Сильные	Сильные	Сильные
K	Следы	Оч. сильные	Средние	Сильные
Na	—	Средние	Средние	Слабые
Li	—	—	Сильные	Слабые
Ba	Оч. слабые	Слабые	Сильные	Оч. слабые
Mn	Средние	Слабые	Сильные	Выше средних
Sr	—	Средние	Слабые	Средние
Ag	—	—	Следы	—
Pb	—	Оч. слабые	—	Оч. слабые
Cu	Следы	Слабые	Следы	Оч. слабые
Zr	Следы	—	—	—
V	—	—	Слабые	—
Ti	Следы	Оч. слабые	Слабые	Оч. слабые
Tl	—	Слабые	—	—
Mo	—	—	—	—
Zn	—	—	—	—
As	—	—	—	—
Ga	—	Следы	Оч. слабые	Оч. слабые
Bi	—	—	Оч. слабые	—

Таблица V

развивающихся по топазу

биотитовые граниты			
ние № 1			
кварцевые			
мусковит	Синевато-серый литий содержащий гидромусковит	Голубой литийсодержащий гидромусковит	
Обр. 96-а	Обр. 101	Обр. 113-а	Обр. 91
ность линий			
Оч. сильные	Оч. сильные	Оч. сильные	Оч. сильные
Оч. сильные	Оч. сильные	Оч. сильные	Оч. сильные
Оч. сильные	Оч. сильные	Оч. сильные	Средние
Выше средних	Оч. сильные	Сильные	Средние
Сильные	Сильные	Сильные	Сильные
Выше средних	—	Слабые	—
Оч. слабые	—	—	—
Слабые	Оч. сильные	Сильные	—
Оч. слабые	—	—	—
Средние	Выше средних	Средние	Оч. слабые
Слабые	Следы	Слабые	—
—	—	—	—
—	Следы	—	—
—	Средние	Слабые	Следы
—	—	—	—
—	—	—	—
Оч. слабые	—	Ничтожные следы	—
—	—	—	—
—	—	—	—
—	—	—	—
—	Ничтожные следы	—	—
—	—	—	—
—	Следы	Ничтожные следы	—
—	—	Ничтожные следы	—

Таблица V (окончание)

Вмещающие породы	Грейзенизированные биотитовые граниты				
№ месторождения	Месторождение № 1				
Тип жилы	Касситерит-топазово-кварцевые				
Название и цвет слюды	Голубовато-серый литийсодержащий гидромусковит				Светлосерый литийсодержащий гидромусковит
№ образца	Обр. 84	Обр. 471	Обр. 109	Обр. 111-а	Обр. 101-а
Элементы	Интенсивность линий				
Al	Оч. сильные	Оч. сильные	Оч. сильные	Оч. сильные	Оч. сильные
Si	Оч. сильные	Оч. сильные	Оч. сильные	Оч. сильные	Оч. сильные
Fe	Оч. сильные	Оч. сильные	Оч. сильные	Оч. сильные	Оч. сильные
Ca	Сильные	Сильные	Выше средних	Выше средних	Сильные
Mg	Сильные	Оч. сильные	Сильные	Выше средних	Оч. сильные
K	—	—	—	Слабые	—
Na	—	—	—	Слабые	—
Li	—	Оч. сильные	Оч. сильные	Средние	Оч. сильные
Ba	—	—	—	—	—
Mn	Слабые	Средние	Слабые	Средние	Сильные
Sr	—	—	Ничтожные следы	Средние	Средние
Ag	—	—	—	—	—
Pb	Оч. слабые	Следы	Слабые	—	—
Cu	—	Слабые	Слабые	Оч. слабые	Слабые
Zr	—	Следы	Слабые	—	—
V	—	—	—	—	—
Ti	—	—	—	Ничтожные следы	Ничтожные следы
Tl	—	—	—	—	—
Mo	—	—	Ничтожные следы	—	—
Zn	—	—	—	—	—
As	—	—	Ничтожные следы	—	—
Ga	—	—	Ничтожные следы	—	Следы
Bi	—	—	—	—	—



Таблица VI (продолжение)

№ об- разца	Обр. 70		Обр. 101		Обр. 113		Обр. 84		Обр. 471	
	Литийсодержащий гидромусковит									
№ ли- ний	Желтого цвета		Синевато-серо- го цвета		Темного голу- бовато-серого цвета		Светлого голубовато-серого цвета			
	Интен- сивность линий	<i>d</i>	Интен- сивность линий	<i>d</i>	Интен- сивность линий	<i>d</i>	Интен- сивность линий	<i>d</i>	Интен- сивность линий	<i>d</i>
27	—	—	Слабые	2,307	Сильные	2,303	Сильные	2,303	—	—
28	—	—	—	—	—	—	—	—	Сильные	2,299
29	Оч. слабые	2,286	—	—	—	—	—	—	—	—
30	—	—	Оч. слабые	2,204	—	—	—	—	—	—
31	Слабые	2,196	—	—	—	—	—	—	—	—
32	Слабые	2,121	Слабые	2,124	—	—	—	—	—	—
33	—	—	—	—	—	2,031	Широкая слабая полоса	2,038	—	—
34	—	—	—	—	—	—	—	—	Средние	1,999
35	Оч. сильные	1,993	—	—	—	—	—	—	—	—
36	—	—	Сильные	1,977	Широкая средняя полоса	—	—	—	—	—
37	Оч. слабые	1,956	—	—	—	—	—	—	—	—
38	—	—	—	—	—	—	—	—	Средние	1,950
39	—	—	Слабые	1,947	—	1,944	—	—	—	—
40	Оч. слабые	1,884	—	—	—	—	—	—	—	—
41	Оч. слабые	1,810	—	—	—	—	—	—	—	—
42	Слабые	1,715	—	—	—	—	—	—	—	—
43	—	—	—	—	Слабые	1,689	Слабые	1,691	Слабые	1,688
44	Сильные широкие	1,644	Сильные	1,640	—	—	—	—	—	—
45	—	—	—	—	Средние	1,634	Средние	1,636	Средние	1,632
46	—	—	—	—	—	—	—	—	Оч. слаб.	1,589
47	Средние широкие	1,493	—	—	—	—	Сильные	1,494	—	—
48	—	—	Оч. сильные	1,488	Оч. сильные	1,488	—	—	Оч. слабые	1,488

Таблица VI (окончание)

№ образца	Обр. 70					Обр. 101					Обр. 113					Обр. 84					Обр. 471				
	Литийсодержащий гидромусковит																								
	Желтого цвета		Синевато-серого цвета		Темного голубовато-серого цвета		Светлого голубовато-серого цвета																		
№ линий	Интенсивность линий	<i>d</i>	Интенсивность линий	<i>d</i>	Интенсивность линий	<i>d</i>	Интенсивность линий	<i>d</i>	Интенсивность линий	<i>d</i>	Интенсивность линий	<i>d</i>	Интенсивность линий	<i>d</i>	Интенсивность линий	<i>d</i>	Интенсивность линий	<i>d</i>	Интенсивность линий	<i>d</i>					
49	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Оч. слабые	1,455			
50	Слабые	1,426	—	—	Слабые	1,422	Оч. слабые	1,425	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
51	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Слабые	1,419			
52	—	—	Оч. слабые	1,412	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
53	—	—	—	—	—	—	Оч. слабые	1,388	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
54	—	—	—	—	Оч. слабые	1,376	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Слабые	1,372			
55	Слабая полоса	1,367	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
56	Сильные	1,339	Средние	1,339	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
57	—	—	—	—	Слабые	1,315	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Слабые	1,315			
58	Слабые	1,294	Средние	1,291	Слабые	1,288	Слабые	1,290	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Слабые	1,290			
59	Средние	1,248	Средние	1,249	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
60	—	—	—	—	Слабые	1,293	Слабые	1,241	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Слабые	1,237			
61	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Слабые	1,116			
62	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Слабые	1,098			
63	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Слабые	1,074			

Анализы произведены в лаборатории ИГН АН СССР Н. Н. Слудской.

топаза, как это мы показали выше, происходит под влиянием гидротермальных растворов. Топаз, при замещении указанными минералами, вначале становится мутным. В дальнейшем, при усилении метасоматического процесса замещения топаза, вторичные минералы, особенно литийсодержащие мусковит и гидромусковит образуют псевдоморфозы по нему, а при более глубоком изменении очертания топаза исчезают, и весь он целиком превращается в агрегат литийсодержащего мусковита (рис. 23), который в свою очередь замещается литийсодержащим гидромусковитом. Структура замещения топаза литийсодержащим мусковитом петельчатая (рис. 24). Литийсодержащий мусковит обычно образует мелкочешуйчатые мягкие массы желтого цвета. Гидромусковит синевато-

серого цвета образует скрытокристаллические массы, обладающие жирным или шелковистым блеском. Указанные слюды были подвергнуты химическому (табл. IV), спектральному (табл. V) и рентгеноструктурному (табл. VI) анализам.

Сопоставляя химические составы топаза и литийсодержащего мусковита, мы видим, что превращение одного минерала в другой происходит при значительном привносе кремнезема (до 10—12%),  $K_2O$  (до 9,5%),  $H_2O$  (до 2,87%) и  $Li_2O$  (до 0,25%) и при резком выносе глинозема (до 15%) и фтора (до 15,62%).

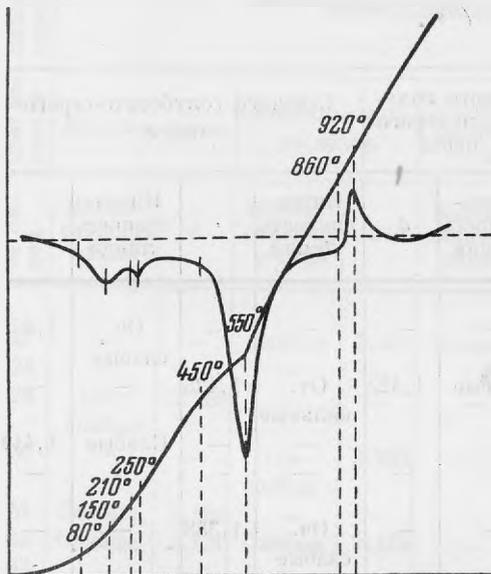


Рис. 25. Кривая нагрева гидромусковита

Из сопоставления химических анализов литийсодержащих мусковита и гидромусковита можно видеть дальнейшие химические изменения, которые происходят при превращении первого во второй. Во-первых, здесь уже наблюдается вынос кремнезема (до 8%),  $K_2O$  (до 7,5%), фтора (до 1,18%) и, во-вторых, привнос глинозема (до 7%),  $Li_2O$  (до 1,14%) и воды (до 7,33%). Таким образом, фтор выносится при разложении топаза почти полностью, а литий и вода привносятся во все возрастающем количестве. Кривая нагрева гидромусковита приведена на рис. 25.

Наблюдения показывают, что одновременно с замещением топаза литийсодержащими мусковитом и гидромусковитом происходит замещение его каолинитом и флюоритом. Это явление вполне закономерно, поскольку при разложении топаза освобождающиеся глинозем и кремнезем при привносе воды вполне могут образовать каолинит, а освобождающиеся фтор (при разложении топаза) и кальций (при разложении плагиоклазов вмещающих пород) образуют флюорит.

Каолинит белого цвета, скрытокристаллический определен по оптическим и рентгеноструктурным данным. Спектральный анализ показал в нем, кроме кремния и алюминия, еще небольшую примесь железа, марганца, магния, кальция, меди (слабые линии), свинца и молибдена (следы и ничтожные следы).

В качестве общей закономерности наблюдается то, что мелкозернистый топаз замещается сильнее, чем крупнокристаллический.

#### б) Метасоматические замещения топаза в топазовых грейзенах, образовавшихся за счет гибридных биотитовых гранит-порфиров

В данном случае вначале, в наиболее высокотемпературную стадию, по гибриднему гранит-порфиру образовался топазовый грейзен, в котором магматогенные минералы, в том числе и биотит, замещаются топазом (рис. 26). Затем в момент формирования в них биотито-флюоритово-арсенипиритовых прожилков топаз в этих грейзенах интенсивно замещается биотитом, флюоритом, корундом (рис. 26) и арсенипиритом (рис. 27).

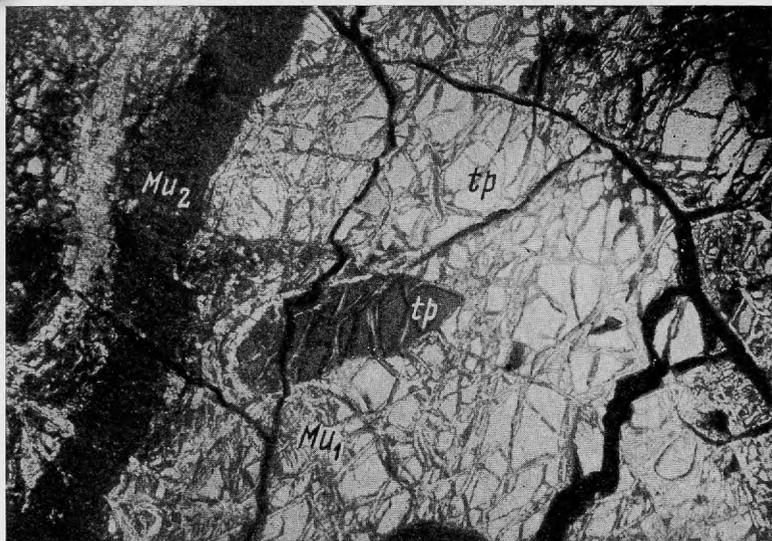


Рис. 24. Петельчатая структура замещения топаза (tp) литийсодержащим мусковитом (Mu<sub>1</sub>), замещающимся, в свою очередь, литийсодержащим гидромусковитом (Mu<sub>2</sub>). Николи +. × 20



Рис. 26. Топаз (tp) замещает биотит (Bi) и сам замещается корундом (Kr);  
Mu — мусковит.  
× 46, без анализатора

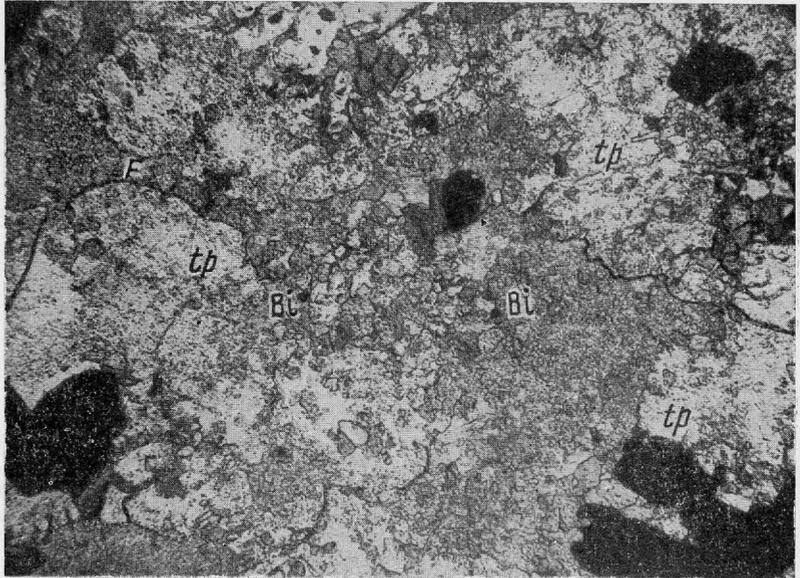


Рис. 27. Топаз (tp) замещается биптитом (Bi), арсенипиритом (черное) и флюоритом (F).  $\times 46$ , без анализатора

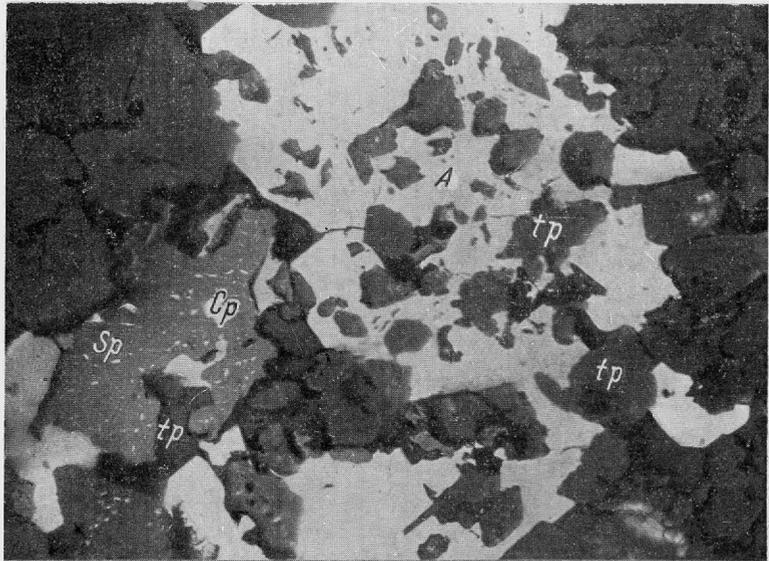


Рис. 28. Арсенипирит (A) и сфалерит (Sp) заполняют промежутки между зернами топаза (tp) и замещают его. В сфалерите видна эмульсионная вкрапленность халькопирита (Cp).  $\times 290$ . Анплиф

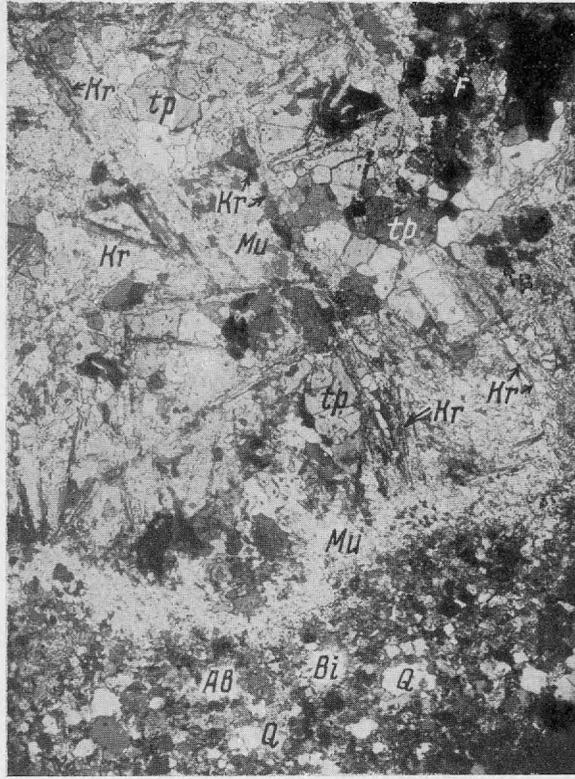


Рис. 29. Корунд (Kr), флюорит (F) и мусковит (Mu) замещают топаз (tp), Q — кварц; Ab — альбит; Bi — биотит. Николи +.  $\times 46$

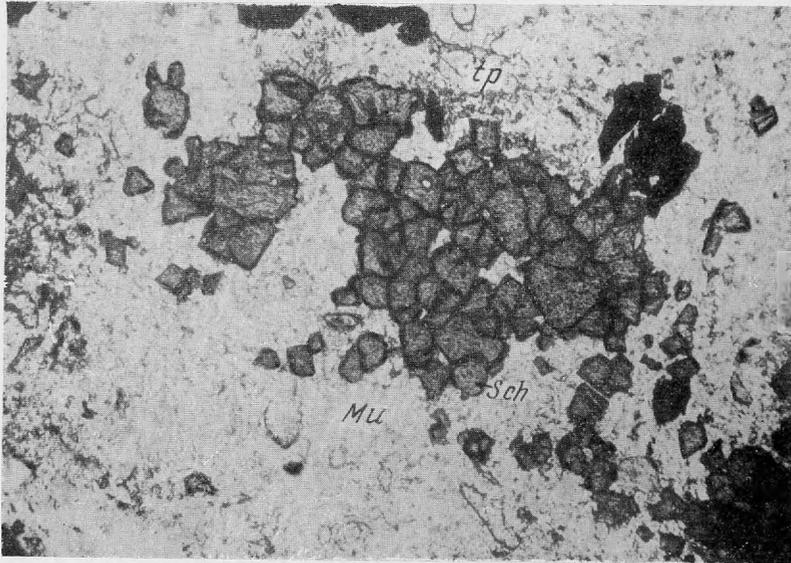


Рис. 30. Мусковит (Mu) и шпинель (Sch) замещают топаз (tp). Чернсе—сфалерит.  $\times 46$ , без анализатора

В топазе, в связи с наложением последующих стадий минерализации, появляется много газово-жидких включений. Отличие в замещении топаза в описываемом случае от замещения топаза в грейзенах, образовавшихся за счет нормальных гранитов, заключается в том, что здесь вместо мусковита развивается магнезиально-железистая слюда — биотит в связи с привнесом калия, магния и железа.

**в) Метасоматические замещения топаза в циннвальдитово-топазовых, кварцево-топазовых и топазовых грейзенах, образовавшихся за счет песчанико-сланцевых пород и в касситерит-топазово-кварцевых жилах, залегающих в этих породах**

В этом случае топаз в грейзенах замещается главным образом флюоритом и в меньшей степени кварцем и сульфидами.

Флюорит, обычно бесцветный, метасоматически замещает топаз с периферии или по спайности, образуя агрегаты мелких выделений или прерывистые цепочки. Спектральный анализ флюорита обнаружил в нем, кроме кальция, еще кремний, алюминий, железо (средние линии), магний и марганец (слабые линии) и стронций (следы). Наличие во флюорите алюминия и кремния указывает на то, что при отборе его на спектральный анализ, по видимому, не удалось избавиться от реликтов топаза.

Кварц также замещает топаз или с периферии или по спайности. Одновременно топаз замещается некоторыми сульфидами, в частности, арсенипиритом и сфалеритом (рис. 28).

Преимущественное замещение в этих грейзенах топаза флюоритом объясняется тем, что на этом месторождении проявилась главным образом высокотемпературная пневматолитическая стадия минералообразования и очень незначительно гидротермальная. При этом образование флюорита началось тогда, когда в более поздних растворах появилось достаточное количество кальция, который заимствовался ими из вмещающих песчанико-сланцевых пород, причем химические анализы песчанико-сланцевых пород показали более высокое содержание в них окиси кальция (в 2—3 раза) по сравнению с гранитами.

В рудных жилах топаз первой генерации замещается гидромусковитом, монтмориллонитом и каолинитом и становится мягким и жирным на ощупь. Топаз второй генерации чаще замещается флюоритом.

**г) Метасоматические замещения топаза в топазово-кварцево-биотитовых, мусковит-кварцево-топазовых и топазовых грейзенах, образовавшихся за счет алевролитов и филлитов, и в касситерит-мусковитово-топазовых прожилках, залегающих в этих породах**

При наличии высокоглиноземистой среды и интенсивно проявившейся гидротермальной стадии минералообразования топаз в указанных грейзенах и прожилках замещается главным образом мусковитом, флюоритом, реже — корундом. Корунд при замещении топаза образует длиннопризматические кристаллы, сросшиеся в лучистые агрегаты. При этом иногда наблюдается такая последовательность: сначала топаз замещается корундом, а затем топаз и корунд замещаются мусковитом, или топаз замещается одновременно корундом, флюоритом и мусковитом (рис. 29).

Особенность замещения топаза в данном случае заключается в том, что при его изменении выпадает свободный глинозем в виде корунда,

а с привнесом магния образуется шпинель. Но шпинель в этом случае образуется вместе с мусковитом, замещающим топаз (рис. 30).

Резюмируя сказанное о метасоматическом замещении топаза, необходимо подчеркнуть следующее.

1. Топаз замещается преимущественно гидроалюмосиликатами (мусковитом, гидромусковитом), гидросиликатами алюминия (каолинитом) и фтористыми соединениями кальция (флюоритом). В некоторых месторождениях наблюдается замещение топаза окислами алюминия (корундом). Таким образом, в состав минералов, образующихся по топазу, входит тот или иной элемент топаза.

2. При наличии более повышенного содержания магния и железа во вмещающих и околорудных породах топаз обычно замещается не мусковитом, а биотитом, турмалином и иногда шпинелью.

3. Метасоматическое замещение топаза происходит в гидротермальную стадию минералообразования под влиянием гидротермальных растворов и по существу сводится к его гидролизу и превращению чаще всего в водосодержащие минералы. Исследования показали, что газожидкие включения в топазе, проникающие в него в связи с метасоматическим процессом, заполнены в большей своей части жидкостью, и это как нельзя лучше подтверждает гидротермальный характер изменения.

4. Разнообразие химического состава минералов, образующихся по топазу, зависит от химического состава метаморфизирующих растворов и вмещающих пород, в которых эти растворы циркулируют.

#### ВЫВОДЫ

1. Топаз встречается в тех оловянных и оловянно-вольфрамовых месторождениях Забайкалья, которые связаны с амазонитовыми гранитами, гранит-порфирами и кварцевыми порфирами новокиммерийского возраста. Постмагматические высокотемпературные растворы новокиммерийских интрузий содержали большое количество фтора, лития и других элементов.

2. Топаз встречается как в околосильных грейзенах, так и в рудных жилах, и всюду он главным образом метасоматического происхождения. При этом топаз образуется преимущественно в пневматолитическую стадию минералообразования, свидетельством чего являются газожидкие включения в нем, относящиеся к этой стадии и заполненные главным образом газом.

3. Топаз в околосильных грейзенах, возникающих в результате грейзенизации гранитов, образуется чаще за счет мусковита и циннвальдита, реже — микроклина и других минералов. Превращение гранитов в мусковито-кварцевые и кварцево-мусковитовые грейзены служит важным условием для последующего образования топаза и, стало быть, топазовых разновидностей грейзенов. В околосильных грейзенах, возникающих за счет песчанико-сланцевых пород, топаз образуется сразу по глинистому цементу и обломкам полевых шпатов, но иногда и по мусковиту грейзенизированных разновидностей этих пород. Таким образом, для образования топаза нужны высокоглиноземистая среда, большой привнос фтора и воды.

4. По химическому составу топаз околосильных грейзенов отличается от топаза жил большим содержанием фтора и меньшим содержанием воды (см. табл. I). Кроме того, топаз околосильных грейзенов, образующихся за счет песчанико-сланцевых пород (алевролитов и глинистых сланцев), отличается от топаза околосильных грейзенов, образующихся

за счет гранитов, тем, что в нем почти всегда встречаются такие элементы, как ванадий, стронций и хром (см. табл. II). Эти элементы всегда устанавливаются спектральным анализом в песчанико-сланцевых породах и не обнаруживаются в гранитах. Таким образом, наличие в топазе ванадия, стронция и хрома обусловлено особенностями химического состава песчанико-сланцевых пород, путем метасоматического замещения которых он образуется. Так же ведет себя и цирконий, который встречается только в топазе грейзенов, образующихся за счет песчанико-сланцевых пород.

Топаз рудных жил, залегающих в грейзенизированных песчанико-сланцевых породах, отличается от топаза рудных жил, залегающих в грейзенизированных гранитах, также частым присутствием в его составе ванадия, стронция и хрома. Повидимому, ванадий, стронций и хром в процессе грейзенизации околожильных песчанико-сланцевых пород выносятся в полость трещины и затем входят в состав топаза рудных жил в виде примесей.

Белый цвет топаза зависит от присутствия в нем газовой-жидких включений.

5. Морфологические отличия топаза околожильных грейзенов и топаза рудных жил заключаются в том, что форма топаза грейзенов наиболее простая из возможных. Он огранен главным образом призмами и реже — пинакоидами с большой ретикулярной плотностью:  $m$  (110),  $b$  (120),  $y$  (021) и  $c$  (001), а в рудных жилах, кроме этих, появляются еще грани ромбических дипирамид:  $u$  (111),  $i$  (223) и другие, обладающие меньшей плотностью (Федоров Е. С., 1893). Таким образом, в околожильных грейзенах в стесненных условиях формируются кристаллы топаза с меньшим разнообразием простых форм, но обладающих большой ретикулярной плотностью граней. В жилах же, формирующихся в трещинах, топазы характеризуются большим разнообразием простых форм, среди которых появляются формы, обладающие малой плотностью граней.

6. В гипогенную стадию топаз подвергается метасоматическому замещению под влиянием гидротермальных растворов, о чем свидетельствуют газово-жидкие включения в нем, заполненные преимущественно жидкостью. Метасоматические замещения по своему минералогическому характеру довольно разнообразны и чаще всего обусловлены не столько составом самого топаза, сколько составом метаморфизующих растворов и околожильных пород и жил, в которых находится топаз и циркулируют метаморфизующие растворы. Наиболее часто по топазу грейзенизированных гранитов или залегающих в них рудных жил разбиваются литий-содержащие мусковит и гидромусковит, реже — флюорит и каолинит. Топаз грейзенизированных гибридных биотитовых гранит-порфиров и гранодиоритов замещается не мусковитом, а биотитом, турмалином, флюоритом, иногда корундом и арсенопиритом. Если топаз находится в грейзенизированных песчанико-сланцевых породах и залегающих в них рудных жилах, то он замещается главным образом флюоритом и в меньшей степени кварцем или мусковитом, флюоритом и иногда корундом и шпинелью.

Таким образом, еще раз подчеркнем, что разнообразие химического состава минералов, образующихся по топазу, зависит именно от химического состава метаморфизующих растворов и вмещающих пород, в которых эти растворы циркулируют.

7. Химические и спектральные анализы слюд (табл. IV и V), а также других минералов показали, что их образование происходило по топазу

вследствие привноса калия, железа, магния, кальция, лития и воды. При этом изучение процесса грейзенизации околожильных пород показало, что это становится возможным в стадии изменения биотита, плагиоклаза и ортоклаза вмещающих пород и перехода таких элементов, как калий, магний, железо, кальций и другие, в подвижное состояние с перемещением их в полость трещины. Циркулирующие растворы перемещают эти элементы в зоны развития топазовых грейзенов и жил, вызывая метасоматическое замещение топаза перечисленными выше минералами.

В заключение пользуемся случаем выразить благодарность проф. Е. Е. Флинту, выполнявшему измерения кристаллов топаза.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Федоров Е. С. Кристаллографические таблицы для кристаллохимического анализа.  
F e d o r o w E. Das Kristallreich. Tabellen für krystall-chemische Analyse). Зап. Росс. АН, сер. VIII, т. XXXVI, 1893.