

В. И. СОТНИКОВ, А. А. ПРОСКУРЯКОВ, Е. И. НИКИТИНА

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКСПЛОЗИВНЫХ БРЕКЧИЙ ШАХТАМИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

(Представлено академиком В. А. Кузнецовым 23 III 1971)

Впервые в результате анализа газовой-жидких включений в акцессорном апатите получены данные о температурных условиях взрывного брекчирования, являющегося характерным процессом при формировании месторождений субвулканического типа.

На Шахтаминском месторождении (¹⁻⁴), как и на преобладающем большинстве других месторождений медно-молибденовой формации, рудный процесс развивался в тесной пространственной и временной сопряженности с процессом взрывного брекчирования и становления многочисленных даек и штоков пород. В возрастном отношении брекчирование несколько предшествовало становлению магматических тел и было связано, очевидно, со вскипанием высокотемпературных флюидов, отделявшихся от неглубоко залегающих очагов до кристаллизации расплава, а также явлениями парообразования вадозных вод, проникавших в область глубинных тепловых потоков (⁵).

В пределах месторождения проявлено два морфологических типа брекчий. Наиболее крупным является штокообразное брекчиевое тело на северо-западе месторождения. Это тело, прорванное штоком гранитпорфиров, фиксирует, очевидно, активный выводной канал центрального типа. В обломочной части брекчий присутствуют в основном вмещающие шахтаминские гранитоиды и реже связанным с ними аплиты, диоритовые порфиристы (?) и постмагматические образования (обломки кварц-турмалиновых жил). Цемент преимущественно представлен интенсивно биотитизированным тонкообломочным материалом вмещающих пород.

Второй тип брекчий, встречаемых в подземных выработках центральной и восточной частей месторождения, представлен маломощными (до первых десятков сантиметров) жилкообразованными телами, приуроченными в основном к субширотным трещинам и тектоническим зонам, являющимся наиболее характерными структурными элементами месторождения. Обломки, имеющие здесь угловатую форму, представлены шахтаминскими гранитоидами, обычно интенсивно калишпатизированными. Цементом является тонкодробленый интенсивно биотитизированный материал тех же гранитоидов.

В генетическом отношении последние брекчии следует относить к взрывным брекчиям трещинного типа, удаленным от центрального выводного канала и характеризующимся (по сравнению с брекчиями самого канала) менее интенсивным перемещением обломков, но, возможно, большей активностью поздних минералообразующих растворов.

Общие температурные условия развития рудной минерализации на Шахтаминском месторождении охарактеризованы в работе (⁶)

Оценка температур взрывного брекчирования, в связи с невозможностью использования здесь обычно применяющихся для целей термометрии минералов (в частности, кварца), производилась по результатам гомогенизации газовой-жидких включений в кристаллах и зернах акцессорного апатита, образовавшегося в процессе брекчирования.

Температура (°C) и тип гомогенизации газовой-жидких включений в аксессуарном апатите взрывных брекчий и вмещающих их гранитоидов

№№ пп.	Цемент		Обломки шахтаминских гранитоидов		Шахтаминские гранитоиды, вмещающие тела брекчий
	из «жилых» брекчий	из штокообразной брекчий	из «жилых» брекчий	из штокообразной брекчий	
1	—	—	300—410, в жидкость	250—440, в жидкость	260—440, в жидкость
2	450—610, в газ	440, в жидкость и в газ	450—550, в жидкость 400—580, в газ	470—495, в жидкость 400—545, в газ	600, в газ, редко

Следует подчеркнуть, что приведенные в статье температуры (табл. 1) характеризуют только определенный период взрывного брекчирования — период, когда имело место формирование апатита. Начальные же температуры процесса взрывного брекчирования были, по-видимому, выше приводимых здесь температур. В связи с тем что в штокообразные брекчий был выделен аксессуарный апатит, входил материал из различных участков брекчиевых тел, полученные температуры характеризуют общие температурные условия формирования взрывных брекчий. Этим, очевидно, и обусловлены значительные температурные интервалы для отдельных стадий процесса.

Для сравнения приводятся данные по температурным условиям образования аксессуарного апатита шахтаминских гранитоидов, вмещающих тела взрывных брекчий и являющихся основной составляющей их обломочной части. Газово-жидкие включения в этом апатите, как правило, немногочисленны, с заметной ролью жидкой фазы, особенно характерной для включений в периферийной области кристаллов, где (особенно в головках) встречаются даже однофазовые жидкие включения. Гомогенизация включений в жидкую фазу при 260—440°. Отмечается ступенчатое изменение температур вдоль длинной оси отдельных кристаллов. Колебания температур по отдельным зернам апатита обычно значительны. Эти особенности, скорее всего, указывают на образование апатита в позднемагматическую стадию в практически уже сформировавшейся горной породе. Встречаются очень редкие зерна апатита с гомогенизацией включений в газовую фазу при температурах около 600° C (рис. 1а). Очевидно, этот апатит наиболее близок к магматической стадии становления гранитоидов.

Апатит из цементирующей массы «жилых» брекчий характеризуется редкими газово-жидкими включениями (в основном изометричными неограниченными и полуограниченными) с высокой ролью газовой фазы. Гомогенизация включений в газовую фазу — при 450—610°. Встречаются существенно газовые включения. Судя по морфологическим особенностям включений, формирование апатита в цементе брекчий происходило в условиях относительно низкой реакционной способности минералообразующей среды, что могло быть обусловлено как преимущественно газообразным состоянием флюида, так и быстрым выводом его из области реакций.

В апатите из обломков «жильной» брекчий газово-жидкие включения более многочисленны. Иногда апатит бывает буквально переполнен ими — это «готовый» апатит (рис. 1б). Большинство включений гомогенизируется в жидкую фазу при 300—410° (рис. 1в). По температурам и характеру гомогенизации эти включения близки к вышерассмотренным включениям в апатитах из шахтаминских гранитоидов, но несколько отличаются от них морфологически (для первых наиболее характерна трубчатая и удли-

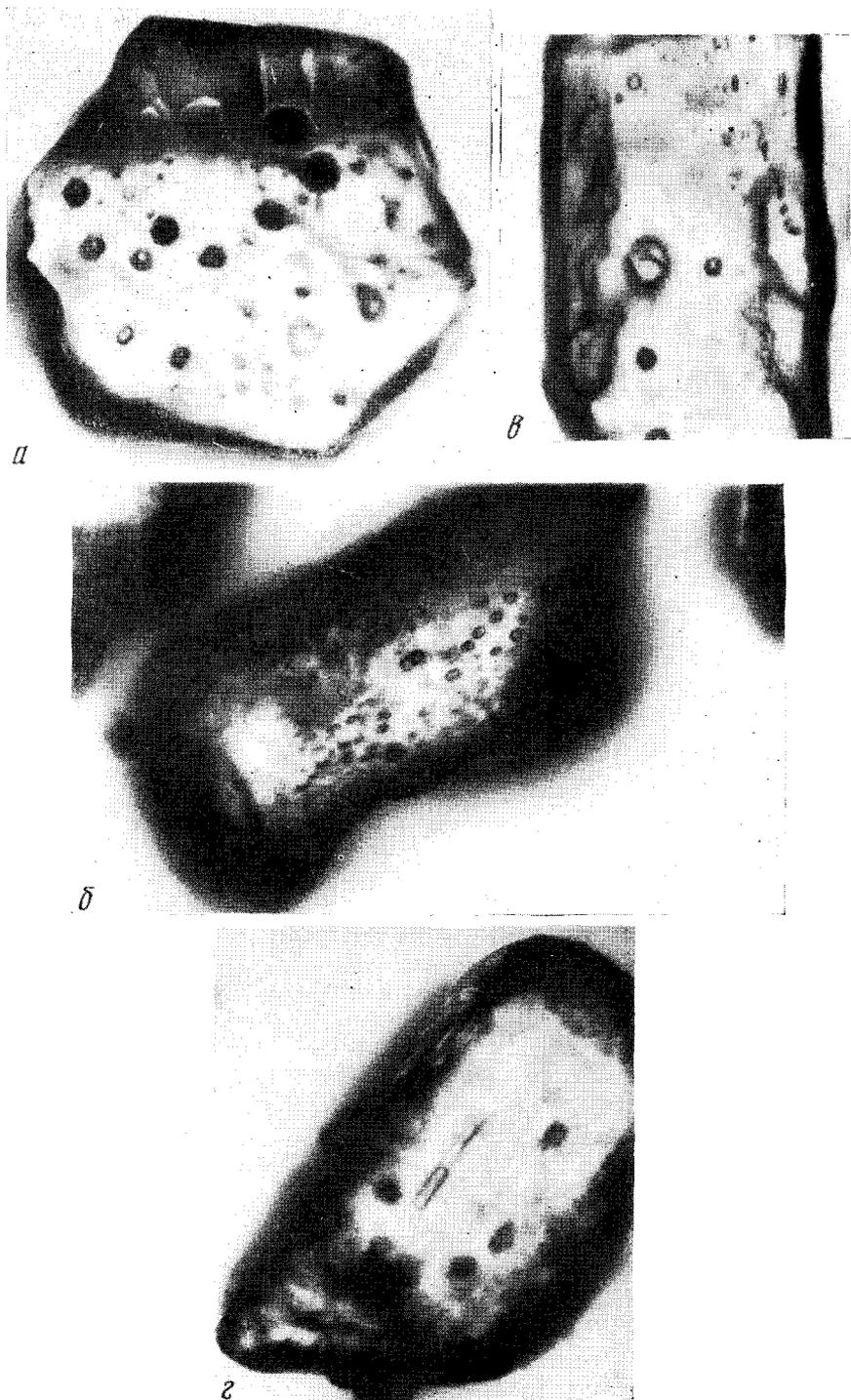


Рис. 1. *а* — кристалл апатита (поперечный срез) из шахтаминских гранитоидов с газовой-жидкими включениями, гомогенизирующимися в газ при $t = 550-600^\circ$ ($640\times$); *б* — «сотовый» апатит с многочисленными включениями ($t_{\text{гом}} = 350-370$, в жидкость) из обломков гранитов «жильной брекчии» ($900\times$); *в* — два типа включений в апатите из обломков гранитов жильной брекчии: удлиненнопризматические ($t_{\text{гом}} = 350-400^\circ$, в жидкость) и существенно газовые изометричные ($t_{\text{гом}} = 350-580^\circ$, в газ) ($620\times$); *г* — удлиненнопризматическое включение в апатите из обломочной части штокообразной брекчии ($t_{\text{гом}} = 450$, в жидкость) ($630\times$)

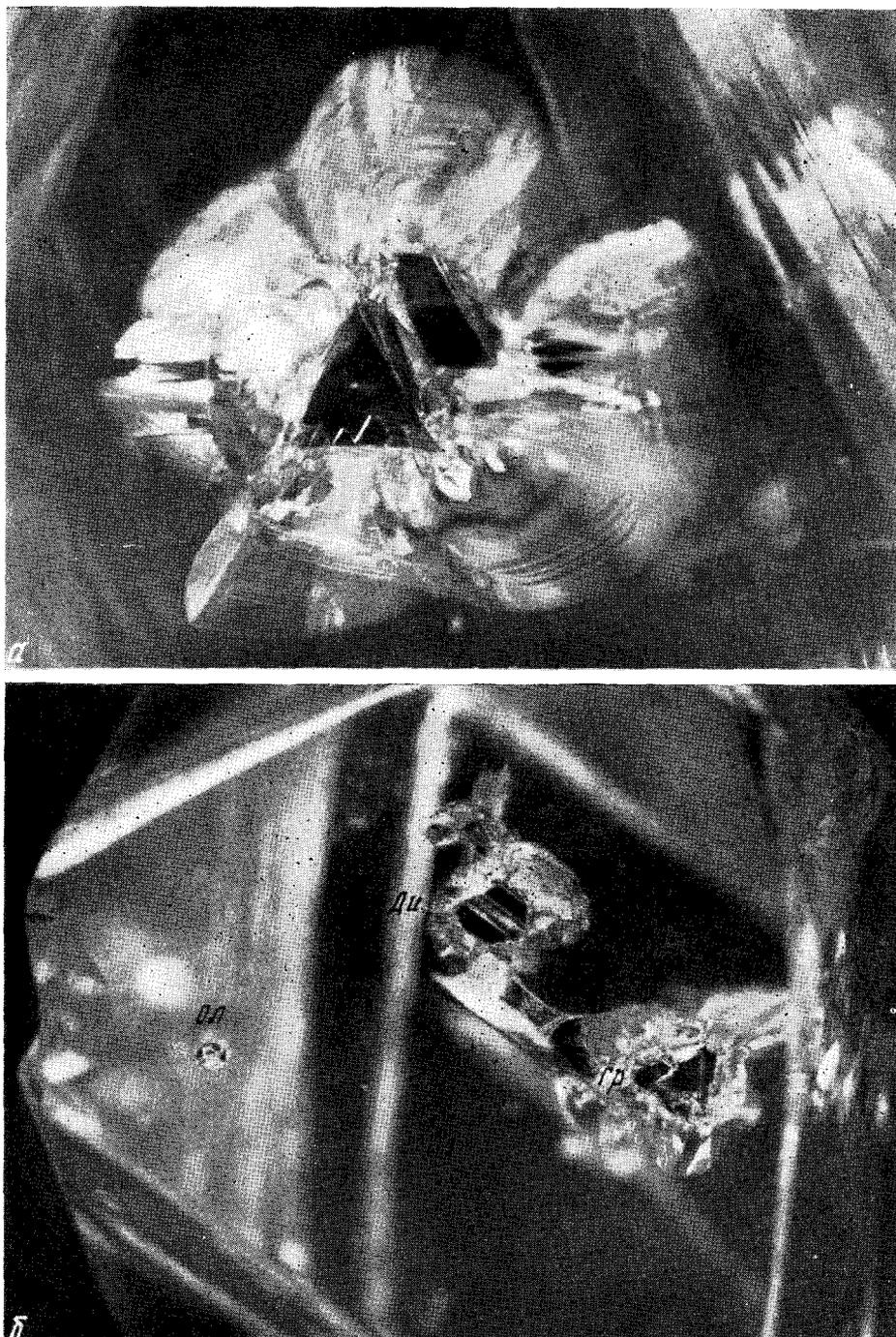


Рис. 1. Включения октаэдрической формы в кристаллах алмазов. Видна параллельность ребер включенных минералов и ребер внешней огранки алмаза. *a* — хромдиоксид в обр. № АВ-7 (20×); *б* — пироп (*Гр*) и хромдиоксид (*Ди*) в обр. № АВ-10 (*Ол* — идиоморфное включение оливины) (15×)

ненно-призматическая форма) и большей ролью газовой фазы. Отмечены (7) заметные различия и в составе самих апатитов.

Для рассматриваемого апатита зафиксированы также включения, гомогенизирующиеся при 450—550° в жидкую фазу, что свидетельствует о высоких давлениях при минералообразовании (8, 9). Объем газовой фазы в подобных включениях обычно составляет не менее 50—60%. Как правило, эти включения не встречаются совместно с описанными выше удлиненными включениями. Даже в случае присутствия их в одном зерне апатита отмечается пространственная разобщенность разнотипных включений с преимущественной концентрацией удлиненных включений в центральной части зерен. Более же высокотемпературные включения, отличающиеся обычно большими размерами и изометричными, менее ограниченными формами, локализованы в основном по периферии.

Много общего с последними имеет еще одна группа существенно газовых включений, гомогенизирующихся, однако, в газовую фазу (при 400—580°), т. е. близких по этому параметру к включениям из апатитов цемента «жилых» брекчий. Эти включения (рис. 1в) также тяготеют к периферии зерен апатита и являются наиболее крупными по размерам среди всех включений, выявленных в апатитах из обломков брекчий. Часто отмечается неупорядоченное распределение их по зерну.

В апатитах из цементирующего материала штокообразного брекчиевого тела газово-жидкие включения чрезвычайно редки. Для встреченных включений зафиксирована гомогенизация при 440° как в жидкую, так и газовую фазу. При этом включения с различным характером гомогенизации были отмечены в пределах одних и тех же зерен апатита и могут рассматриваться как сосуществующие.

Апатиты из обломков штокообразной брекчий несут значительно больше газово-жидких включений, приближаясь в этом отношении к апатитам из обломков «жилых» брекчий. Для них также характерна высокая роль газовой фазы (до существенно газовых включений) при тех же трех типах характера гомогенизации: в жидкую фазу при 250—440°; в жидкость при 470—495°; в газовую фазу при 400—545°. Включения последней группы являются существенно газовыми. В отличие от включений из апатитов обломков «жилых» брекчий, для которых часто характерны удлиненные формы, здесь обычны включения изометричных форм. Но в отдельных кристаллах апатита встречаются единичные газово-жидкие включения резко выраженной удлиненно-призматической формы (рис. 1г) с высоким содержанием газовой фазы (до 70—80%). Отмечаются существенные колебания в наполнении между включениями из разных зерен апатита, что, очевидно, отражает специфику образования наложенного апатита в обломках гранитоидов, характеризующихся различной проницаемостью в разных участках. Таким образом, наиболее высокие температуры (до 610°) зафиксированы для апатитов цементирующей массы «жилых» брекчий, формирующихся в условиях газообразного состояния флюида. При этом не исключено, что в данном случае температура захвата включений может быть заметно выше, чем температура его гомогенизации (8).

Температурные условия формирования апатитов в обломках гранитоидов были нестабильными. В ранний период, когда, очевидно, имел место общий прогрев обломков, происходила конденсация паро-газовой смеси, проникающей в относительно ненагретые обломки, и образование апатита шло из жидких растворов при 250—440°. Жидкое состояние в системе сохранялось и при более высоких температурах (450—550°), что, по-видимому, было связано с высокими давлениями, приближающимися к 1000 атм (8, 9). Наконец, для апатитов (особенно периферийных частей зерен) из обломков отмечены также температуры (400—580°), приближающиеся к температурам гомогенизации включений в апатитах цемента при аналогичном фазовом состоянии флюида (газообразном). Последнее, вероятно, связано с выравниванием термодинамических условий минералообра-

зующей системы во всей зоне эксплозивного брекчирования. Отмечаемые иногда по периферии зерен апатита жидкие однофазовые включения свидетельствуют о продолжавшемся росте их под воздействием уже относительно низкотемпературных растворов (возможно, поровых).

Рассматривая в целом температурные условия процесса брекчирования, следует отметить довольно высокую температуру, при которой в обстановке благоприятной обводненности, повышенной роли летучих компонентов и активном тепловом потоке могли создаваться условия для локального плавления окружающих пород (особенно цементирующего материала брекчий).

Судя по фазовому состоянию флюида в цементирующей и обломочной частях брекчий и особенностям газовой-жидких включений в исследованных апатитах, можно предполагать, что «зона вскипания» в рассмотренных телах эксплозивных брекчий располагалась несколько ниже поверхности современной эрозии.

Впервые проведенный минералотермометрический анализ акцессорного апатита, являющегося характерным минералом многих образований, открывает широкие перспективы не только при исследовании температурных условий минералообразования (особенно в случае отсутствия других хорошо себя зарекомендовавших для термометрии минералов), но и при постановке других генетических вопросов, таких как время выделения акцессорных минералов и их место в процессе становления магматических тел; характер связи магматических, метасоматических, рудных и брекчиевых образований в эндогенном процессе; оценка возможной рудоносности интрузивных массивов и др.

Институт геологии и геофизики
Сибирского отделения Академии наук СССР
Новосибирск

Поступило
15 III 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. И. Сотников, Тр. Инст. геол. рудн. месторожд., петрогр., минерал. и геохим., в. 41 (1964). ² В. В. Сидоренко, Геология и петрология Шахтамшского интрузивного комплекса, Изд. АН СССР, 1961. ³ В. Д. Пампура, Геохимические особенности процессов окolorудных изменений и их термодинамический анализ на примере Шахтамшского месторождения. Автореф. кандидатской диссертации, Иркутск, 1965. ⁴ В. В. Кеппежинская, К. Б. Кеппежинская, Геология и геофизика, № 5 (1964). ⁵ В. И. Сотников, А. И. Берзина, В. А. Скуридин, В сборн. Рудообразов. и его связь с магматизмом, Якутск, 1969. ⁶ А. В. Пизнюр, Минералогич. сборн., Львов, в. 2, № 24 (1970). ⁷ В. И. Сотников, Е. И. Никитина и др., Геохимия, № 2 (1971). ⁸ А. Н. Заварицкий, В. С. Соболев, Физико-химические основы петрографии изверженных пород, М., 1961. ⁹ Ф. Г. Смит, Физическая геохимия, 1968.