Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова т. LX, вып. 2, 1971 г.

К УСЛОВИЯМ ОБРАЗОВАНИЯ КВАРЦЕВЫХ ТЕЛ

А. И. Бочкарев

Изученное месторождение горного хрусталя Урала приурочено к крупной линзе доломитовых мраморов северо-восточного падения и северо-западного склонения. Средняя мощность линзы 200 *м*, протяженность 800 *м*. На северо-востоке она контактирует с апофизой каледоно-герцинского гранитоидного массива, на юго-западе — с кристаллическими сланцами предположительно рифейского возраста и мелкими отторженцами массива. Промышленными объектами на месторождении являются хрустальные гнезда.

По своему генезису оно относится к гидротермально-метаморфическим. Основной особенностью образования таких месторождений является заимствование SiO_2 для кристаллов кварца хрустальных гнезд из вмещающих пород, на что первым обратил внимание А. Е. Карякин [5]. В описываемом случае, поскольку месторождение приурочено к бескварцевым породам, вмещающей средой непосредственно для гнезд служат локальные участки повышенной кремнеземистости — ранее образовавшиеся кварцевые тела, зоны окварцевания и контактирующие с мраморами кварцсодержащие породы. Большинство промышленных хрустальных гнезд месторождения является продуктом конечной стадии наложенного процесса перекристаллизации жильной массы кварцевых тел.

Исходя из особенностей строения и формы, все кварцевые тела описываемого месторождения можно разделить на плосколинзовидные жилы и прожилковые зоны. Это разделение в значительной мере условно, так как крупные жилы всегда сопровождаются серией мелких апофиз, образующих прожилковые зоны. В настоящем сообщении рассматриваются некоторые особенности формирования этих тел.

Все кварцевые тела месторождения являются мономинеральными образованиями, большинство из которых сложено молочно-белым мелко- и среднезернистым кварцем. Однако в некоторых телах наблюдалось симметрично-зональное строение с увеличением размеров зерен кварца к центру, вплоть до образования зоны друзового роста кристаллов «остаточных гнезд», по В. Ю. Эшкину. Под воздействием последующих тектонических напряжений почти во всех индивидах такого первичного крупно- и гигантозернистого кварца образовывались трещины. В участках особенно интенсивного дробления возникал вторичный мелкозернистый гранулированный кварц. Зачастую его можно отличить от первичного по наличию крупных реликтовых индукционных граней. Однако в подавляющем большинстве кварцевых тел эти грани не со-

хранились и присутствует довольно равномернозернистый молочно-белый агрегат жильного кварца.

В зависимости от степени тектонических напряжений в кварце наблюдаются различные метаморфические структуры [17]. В кварцевых телах описываемого месторождения выделяются следующие группы жильного кварца по степени его катаклаза: а) жильный кварц с нормальным погасанием; б) жильный кварц, слабо катаклазированный, с волнистым погасанием; в) жильный кварц, умеренно катаклазированный, с лоскутовидным и линзовидно-полосчатым погасанием; г) жильный кварц, сильно катаклазированный, с мозаичным (блоковым) погасанием.

Из приведенных групп только последняя соответствует собственно грануляции, что предполагает наличие хрупких деформаций кварца. Первые три группы относятся к жильному кварцу, затронутому лишь пластической деформацией. Выделенные группы катаклазированного жильного кварца связаны между собой постепенными переходами, часто наблюдается наложение различных метаморфических структур друг на друга.



Рис. 1. «Висячие обломки мраморов в кварцевой жиле. М 1 : 10

Для выяснения температурных условий образования кварцевых тел месторождения исследовано около 20 проб жильного кварца методами декрепитации и гомогенизации. Полученные данные свидетельствуют, что все (мелко-, средне- и крупнозернистые) разновидности жильного кварца, слагающие кварцевые тела месторождения, образовались в одинаковом интервале температур 350—600° С [2].

До последнего времени большинство исследователей гидротермально-метаморфических месторождений горного хрусталя считало кварцевые тела продуктами выполнения открытых трещин гидротермальными растворами. Механизм выполнения представлялся как многократное приоткрывание трещин, по К. Хьюлину. Описаны многочисленные случаи подобного образования рудных и жильных тел. Для кварцевых тел Урала основным доказательством их образования путем заполнения растворами неоднократно приоткрывающихся трещин служила иногда наблюдающаяся книжная текстура жил.

Наряду с этим во многих кварцевых телах региона, в частности на описываемом месторождении, наблюдаются обломки вмещающих пород различной формы и размеров (рис. 1). Образование таких «висячих» обломков В. С. Чуриков [14], например, связывает с внедрением по трещиноватым зонам вязких коллоидных растворов. При детальном изучении жильной массы кварцевых тел месторождения никаких следов колломорфных или метаколлоидных структур не встречено. Мало-

убедительной представляется и точка зрения А. Е. Карякина [6], который объясняет возникновение «висячих» обломков внедрением в трещиноватые зоны истинных растворов с высокой концентрацией кремнезема и под высоким давлением. Обязательным условием при этом является быстрая кристаллизация внедрившегося раствора, ибо, как справедливо замечает сам автор этой гипотезы, при иных условиях обломки пород не удержались бы даже в расплаве кремнезема. Следовательно, по концепции А. Е. Карякина, обломки вмещающих пород в кварцевых телах должны окружаться только первичным мелкозернистым жильным кварцем, поскольку именно такой кварц свидетельствует о быстрой кристаллизации раствора.

Наблюдения автора над брекчиевидными кварцевыми телами месторождения показали, что прожилки, цементирующие отдельные куски мраморов в таких телах, нередко представлены крупнозернистым первичным жильным кварцем — продуктом довольно длительной кристаллизации формирующих его растворов. Часто обломки пород в кварцевых телах сохраняют свою первичную ориентировку, что совершенно необъяснимо с точки зрения А. Е. Карякина, если учесть, что заполнению трещиноватых зон должен предшествовать хотя бы краткий момент их приоткрывания.

Описанные особенности строения некоторых кварцевых тел не позволяют отнести последние к продуктам выполнения открытых трещин. Кроме того, такие признаки, как прямолинейные и четкие контакты, развитие друзовых, крустификационных, полосчатых текстур и т. п., рассматриваемые предыдущими исследователями в качестве однозначных доказательств образования кварцевых тел в открытых полостях, в настоящее время не могут считаться такими [10, 12]. Не отрицая возможности формирования части кварцевых тел месторождения путем выполнения открытых трещин, автор основное значение в этом процессе придает явлениям замещения. Под замещением в данном случае понимается любой процесс физико-химического характера, когда на месте одной породы или минерала возникает другая порода или минерал отличного химического состава [8].

Ранее нами уже описывались своеобразные кварц-кальцитовые породы, образовавшиеся при взаимодействии кремнеземсодержащих гидротермальных растворов с доломитовыми мраморами месторождения в результате их неполного замещения. Термометрический анализ пробы кварца из такой породы показал, что температура его образования соответствует температуре формирования собственно кварцевых тел месторождения. Сходные примеры образования кварцевых тел замещения в карбонатных породах приводит В. С. Кормилицын [9].

Интересные данные получены при изучении прожилковых кварцевых тел месторождения, зачастую представляющих собой брекчиевидные образования. В этих телах фиксируются различные количественные соотношения между цементирующим жильным кварцем и обломками вмещающих мраморов, отражающие стадии последовательного замещения последних кварцем (рис. 2); первичная ориентировка обломков, как правило, сохраняется. Эти факты еще раз свидетельствуют о том, что в формировании кварцевых тел описываемого месторождения процессы замещения играли большую роль.

В рассмотренных случаях, по-видимому, происходит замещение с промежуточной стадией растворения. При этом виде замещения под влиянием единой динамической системы растворов процессы локального полостеобразования и заполнения полостей, будучи в пределах всей системы едиными, последовательно развивающимися, дифференциально могли проявляться как разобщенные. В макросистеме конечный результат подобен метасоматическому: замещение одной твердой массы — другой «объем на объем». По предложению Г. Л. Поспелова [11], такие

образования можно назвать «субметасоматическими», поскольку имеет место как бы интегральный метасоматоз при отсутствии дифференциального

Одним из первых на возможность образования кварцевых тел путем такого замещения указал Ф. Чойс [18]; об этом же писали Л. И. Лукин и И. П. Кушнарев [10]. Сравнительно недавно А. Г. Акиньшина [1] описала случаи возникновения кварцевых жил в результате замещения гранодиоритов. На алданских гидротермально-метаморфических месторождениях горного хрусталя, залегающих в кварцитах, кварцевые жилы замещения выделял П. П. Токмаков [13].

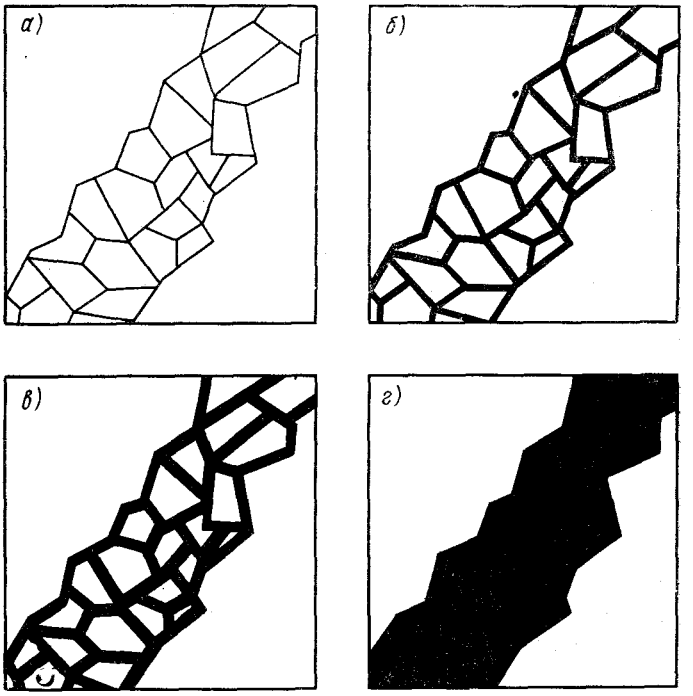


Рис. 2. Последовательность образования кварцевого тела путем замещения трещиноватых доломитовых мраморов:

а — трещиноватые мраморы; *б* и *в* — кварц-карбонатное тело; *г* — кварцевое тело замещения

При описании постмагматических явлений на данном месторождении подчеркивалось, что уже в первых порциях гидротермальных растворов было повышенное содержание кремнекислоты. Об этом свидетельствуют зоны окварцевания, сопровождающие большинство постмагматических образований месторождения. Наиболее высокой концентрации SiO_2 в растворах соответствует по времени возникновение кварцевых тел, т. е. стадия максимального кислотного выщелачивания. В этот период все компоненты вмещающих доломитовых мраморов становились подвижными и процессы замещения приобретали наибольшую интенсивность. Выше уже упоминалось о наличии ксенолитов мраморов в кварцевых телах месторождения. Газообъемный анализ таких кусков показал, что они сложены раздоломиченными и окварцованными мраморами. Аналогичным изменениям — окварцеванию и раздоломичиванию (кальцитизации) — подвергаются доломитовые мраморы около кварцевых тел. Подобные изменения вмещающих пород характерны не

только для крупных плосколинзовидных жил, но и для мелких кварцевых прожилков.

На месторождении неизвестны случаи кристаллизации компонентов замещенных доломитовых мраморов ранее жильного кварца, хотя примеры таких «ранних» карбонатов в литературе встречаются. Для изученных кварцевых тел обычно появление на завершающих этапах их формирования кальцитовых прожилков «поздних» карбонатов, как бы заканчивающих образование кварцевых тел. Их формирование считается началом заключительной стадии постмагматических процессов на месторождении — поздней щелочной.

Описанный материал убедительно подтверждает точку зрения большинства отечественных исследователей гидротермально-метаморфических месторождений горного хрусталя на магматический очаг как на источник кремнезема для образования кварцевых тел. В самом деле, латераль-секреционная теория происхождения совершенно не пригодна для кварцевых тел, залегающих в карбонатных породах. Оригинальную гипотезу по поводу источника SiO_2 для образования прожилковых кварцевых тел месторождения, которые он считает сингенетичными с хрустальными гнездами, предложил В. Ю. Эшкин [16]. По его мнению, кремнезем для них брался из подстилающих кварцсодержащих пород. Однако при этом приходится предположить значительный пространственный и временной перерыв между выщелачиванием и отложением кварца, тогда как по данным большинства исследователей этот процесс при хрусталеобразовании происходит *in situ* [4, 7].

В настоящее время не существует единого мнения о форме переноса кремнезема в гидротермальных растворах. Подробно этот вопрос освещен в работе И. Г. Ганеева [3], который пришел к выводу, что SiO_2 переносится в виде агрегированного мономера (H_3SiO_4).

Однако, даже учитывая возможность переноса кремнезема в растворах в виде высокомолекулярных соединений, необходимо допустить для образования многочисленных кварцевых тел описываемого месторождения наличие огромного количества воды. В. Бичэен подсчитал, что для создания среднего месторождения горного хрусталя, исходя из данных о растворимости кремнезема при 335° С и давлении 136 *атм*, понадобилось бы примерно $17 \cdot 10^{12}$ *т* раствора. Такое количество воды содержится в море площадью 160 000 *км*^{2} и глубиной 1 *км*.

Возникающую проблему объема растворов удачно разрешает в своей работе А. Е. Шлыгин [15]. Анализируя накопившийся фактический материал, он пришел к выводу, что в процессе формирования гидротермальных месторождений скорее всего существовали не «сквозные», а «замкнутые» системы. Под «замкнутыми» системами в этом случае подразумевается очаг возникновения растворов, участок минерализации и соединяющие эти два пункта пути, заполненные растворами. По данным Н. Н. Шефталя, при синтезе кварца в замкнутой системе для получения кристалла весом в 400 *г* требуется всего 10 *л* раствора.

Выводы

Кварцевые тела изученного месторождения образовались в основном за счет замещения доломитовых мраморов кремнекислыми растворами.

Образование кварцевых тел является частью единого постмагматического процесса и соответствует стадии максимального кислотного выщелачивания.

Источником SiO_2 для кварцевых тел служит магматический очаг.

В заключительные периоды формирования кварцевых тел насыщенность растворов SiO_2 падала, постмагматический процесс вступал в свою завершающую, позднюю щелочную стадию развития. Началом ее на

данном месторождении следует считать появление кальцитовых прожилков.

Описанные кварцевые тела не хрусталеносны. Объясняется это, по-видимому, пересыщенностью кремнеземом постмагматических растворов стадии максимального кислотного выщелачивания, препятствовавшей кристаллизации крупных индивидов кварца. Однако, как упоминалось выше, кварцевые тела на месторождении сыграли огромную роль в процессе хрусталеобразования как основной источник SiO_2 для кристаллов промышленных хрустальных гнезд, но это уже вопрос специального исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акиньшина А. Г. О возможном источнике кварца в жильных месторождениях. Изв. ВУЗов, сер. геол. и разв., № 12, 1961.
2. Бочкарев А. И., Москалюк А. А. О температурных условиях образования кварцевых тел и хрусталеносных гнезд, залегающих в карбонатных породах. Сборник статей по экспериментальным и геолого-минералогическим исследованиям процессов рудообразования. Недра, 1968.
3. Ганеев И. Г. О возможной форме переноса кремнезема в гидротермальных растворах. Советская геология, № 12, 1963.
4. Григорьев Д. П. Генезис кварца в жилах альпийского типа на территории СССР. Тр. ВНИИП, т. VI, вып. 1, 1960.
5. Карякин А. Е. Вмещающие породы — источник материала для минералов хрустальных гнезд. Зап. ЛГИ, т. XXX, вып. 2, 1955.
6. Карякин А. Е. Об источнике кремнезема кварцевых жил и хрустальных гнезд Приполярного Урала. Тр. ВНИИП, т. II, вып. 1, 1958.
7. Карякин А. Е., Смирнова В. А. Структуры хрусталеносных полей. Недра, 1967.
8. Коржинский Д. С. Гранитизация как магматическое замещение. Изв. АН СССР, сер. геол., № 2, 1952.
9. Кормилицын В. С. Околорудные гидротермально измененные породы свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья. Тр. ИГЕМ АН СССР, вып. 83, 1963.
10. Лукин Л. И., Кушнарев И. П. О роли замещения в образовании кварцевых жил. Вопросы геологии Азии, т. II, 1955.
11. Поспелов Г. Л. О типах и механизмах метасоматоза. Геология и геофизика, № 11, 1966.
12. Рундквист Д. В. Некоторые особенности морфологии и строения кварц-вольфрамитовых жил Среднего Урала. Геология рудных месторождений, № 1, 1961.
13. Токмаков П. П. Хрусталеносные кварцевые жилы замещения и хрусталеносные полости перекристаллизации Алдана. Тр. ИГЕМ АН СССР, вып. 10, 1957.
14. Чуриков В. С. Об одном типе заполнения трещин при гипогенном рудообразовании. Советская геология, № 50, 1956.
15. Шлыгин А. Е. О возможностях возникновения «замкнутых систем» при формировании гидротермальных месторождений и ореолов околорудных изменений. В сб. «Метасоматические изменения боковых пород и их роль в рудообразовании». Недра, 1966.
16. Эшкин В. Ю. Об источниках минералообразующих компонентов на примере одного из хрусталеносных месторождений Приполярного Урала. ЗВМО, ч. 93, вып. 6, 1964.
17. Эшкин В. Ю. О строении жильного кварца хрусталеносного месторождения Урала. Зап. ЛГИ, т. XLIX, вып. 2, 1965.
18. Chace. F. Origin of the Bendigo saddle with comment on the formation of ribbon quartz. Econ. geol., № 1, 1949.