

## НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ МИНЕРАЛОГИИ И ГЕНЕЗИСА УРАНОСОДЕРЖАЩЕГО ЯШМОВИДНОГО ЖИЛЬНОГО КВАРЦА

А. Д. НОЖКИН

(Представлена кафедрой геологии и разведки месторождений полезных ископаемых)

Урансодержащий яшмовидный кварц встречен в прожилках, секущих мраморы и скарны приконтактной зоны гранитного интрузива. Среди скарнов преобладают гранатовые, существенно гроссуляровые разновидности, подчиненное значение имеют пироксеновые и амфиболовые скарны. Средняя мощность прожилков составляет 1,5—2 см, максимальная 5—7 см. Ориентированы они преимущественно вкрест полосчатости скарнов и слоистости мраморов. Контакты их с вмещающими породами резкие.

Главная масса прожилков целиком сложена яшмовидным кварцем и только некоторые из них в зальбандах содержат кальцит. Кварц здесь весьма специфический. Он имеет красный, вишнево-красный цвет, скрытокристаллическое строение и характеризуется общим яшмовидным обликом. Сложение его очень плотное, внешне однородное или отчетливо колломорфное. В последнем случае наблюдаются почковидные или гроздевидные массы, имеющие в разрезе концентрически-слоистое строение.

Под микроскопом всегда выявляются метаколлоидные структуры минеральных выполнений прожилков. Подавляющая часть кварца представлена волокнистой разновидностью — халцедоном, отличающимся отрицательным удлинением волокон и низким значением светопреломления ( $N_g = 1,542$ ,  $N_p = 1,533$ ). Подчиненное значение имеет обычный тонко- и мелкокристаллический кварц. Халцедон, а изредка и мелкокристаллический кварц содержат примесь рудного материала, неравномерный, концентрически-зональный характер распределения которого как раз и подчеркивает в проходящем свете колломорфную структуру кремнистой массы. В скрещенных николях структурный узор усиливается зональным чередованием различных морфологических разновидностей халцедона, а также обычного кварца.

Особенно широко распространены концентрически зональные сферолиты и полусферические почковидные образования халцедона. При

этом внешняя зона их обычно имеет однородную коричневую или оранжево-красную окраску и представлена аморфным кремнеземом. Следующая зона чаще всего сложена радиально-лучистым халцедоном, окрашенным в оранжевый цвет. И, наконец, внутренняя зона почек и сферолитов образована волокнистым прозрачным халцедоном или мелкокристаллическим кварцем. В некоторых прожилках концентрически-зональные структуры развиты очень слабо. Основная масса минерального вещества в них состоит из агрегата розетковидного или волокнистого халцедона оранжевого цвета, среди которого наблюдаются небольшие гнезда мелкозернистого водяно-прозрачного кварца (рис. 1). Встречаются также участки, сложенные мельчайшими хлопьевидными выделениями аморфного густоокрашенного кремнезема.



Рис. 1. Гнезда мелкозернистого кварца в агрегате розетковидного и радиально-лучистого халцедона

Красные и коричневые тона окраски яшмовидного кварца обусловлены наличием в нем примеси рудного материала. При этом в некоторых случаях он настолько тонкий, что отдельные его частички микроскопически неразличимы, и именно такой дисперсный материал обуславливает равномерное и обычно интенсивное окрашивание халцедона, отличающегося слабовыраженной агрегативной поляризацией. Однако большая часть рудного материала представлена более крупными пылеватыми частичками — включениями в волокнистой или радиально-лучистой разностях халцедона. Исследованиями установлено, что в составе рудного материала резко преобладает окисное железо (табл. 1), соответствующее скорее всего минеральной форме гематита.

Таблица 1  
Содержание окислов железа в яшмовидном кварце

№ пробы	Содержание в %		
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общее
14—13	3,52	0,56	4,136
8466	2,51	0,95	3,355

Содержание урана в прожилках кварца, как правило, незначительное — 0,02—0,03%. При обычном микроскопическом изучении шлифов каких-либо минеральных форм урана в большинство случаев не уста-

навливается. Микрорадиография показывает преимущественно неравномерный звездчатый характер распределения альфа-треков, отвечающий участкам распространения радиально-лучистой и волокнистой разностей халцедона. При этом наибольшая густота их падает на сферолиты и почковидные выделения халцедона, обогащенные пылеватыми частичками рудного материала. Относительно равномерное распределение альфа-треков наблюдается лишь в участках, сложенных равномерно густо окрашенным слабополяризующим халцедоном.

На основании этих наблюдений можно сделать вывод о том, что большая часть урана в яшмовидном кварце присутствует в виде собственной минеральной формы, представленной, очевидно, дисперсными окислами урана. Действительно, в отдельных аншлифах в участках, соответствующих максимальному скоплению на микрорадиографиях альфа-треков, при увеличении 600—800х удается различить мельчайшие точечные выделения (почки) урановой смолки. Что касается густоокрашенного слабополяризующего халцедона, то в нем уран находится скорее всего в сорбированном состоянии.

В этой связи определенный интерес представляют опыты по выщелачиванию урана. Известно, что шестивалентный уран легко извлекается из пробы кипячением ее в 5%-ном растворе углекислого аммония [13]. В данном случае извлечение урана из пробы яшмовидного кварца в указанный раствор за один прием составило около 25—30% общего его количества, что указывает на довольно высокое содержание легкоподвижного элемента. При добавлении перекиси водорода к раствору углекислого аммония извлечение урана из пробы увеличивается до 50—60% за счет окисления четырехвалентного урана, химически связанного в урановой смолке.

Довольно заметное (до 0,1%) увеличение содержания урана в яшмовидном кварце устанавливается на участках пересечения прожилками битуминозных мраморов, амфиболовых и андрадитовых скарнов. Урановая минерализация представлена здесь вкрапленниками сферолитов урановой смолки. Следовательно, в данном случае мы определенно имеем литологический контроль уранового оруденения. Фактором, определяющим относительную «благоприятность» этих пород для формирования уранового оруденения, является наличие в них компонентов, понижающих окислительно-восстановительный потенциал (органическое вещество, двухвалентное железо). Более подробно эти вопросы рассматриваются в специальной литературе [9, 10].

Здесь отметим лишь тот факт, что прожилки кварца, пересекающие мраморы и светлоокрашенные, по составу преимущественно гроссуляровые, скарны и отличающиеся низким содержанием урана, имеют совершенно резкие контакты и не несут каких-либо заметных признаков гидротермального изменения вмещающих пород. Напротив, в битуминозных мраморах, амфиболовых и андрадитовых скарнах в контакте с прожилками в большинстве случаев отмечаются маломощные зонки гидротермального изменения. В амфиболовых скарнах эти изменения выражаются в замещении роговой обманки хлоритом. Последний зачастую разлагается с образованием кварца, карбоната, гематита. Гранат андрадитовых скарнов замещается бурыми окисными соединениями железа, кварцем, а также карбонатом.

Темно-серые битуминозные мраморы оказываются осветленными. Нередко в них отмечаются узкие (5—10 см) ореолы покраснения, обусловленные тонкодисперсной примесью гематита. Наличие зон околожилных изменений свидетельствует о химическом взаимодействии растворов с боковыми породами, которые были неравновесными по отношению к ним [15]. В условиях такого активного взаимодействия этих двух фаз органическое вещество и двухвалентное железо выступали

как факторы, существенно понижающие окислительно-восстановительный потенциал раствора и способствующие восстановлению шестивалентного урана, переводу его в осадок.

В заключение отметим некоторые генетические особенности урансодержащего кварца. Широкое развитие колломорфных структур большинством исследователей [1, 6, 7, 11, 14, 16 и др.] рассматривается как следствие гелевого состояния вещества. В то же время во многих работах [4, 5, 8 и др.] показана возможность образования натечных и почковидных агрегатов путем непосредственной кристаллизации из истинных растворов. Следовательно, в настоящее время мы не можем говорить о непременном формировании колломорфных образований из гелей.

Тем не менее микроскопическое исследование халцедона и кварца позволяет думать, что образовались они скорее всего за счет раскристаллизации геля кремнезема. Об этом свидетельствует, прежде всего, резкое преобладание в жилах халцедона [3] над кварцем, присутствие аморфных (стекловатых) выделений кремнезема, отличающихся весьма слабо выраженными поляризационными свойствами, наличие тонкодисперсных примесей окислов железа и урана. При непосредственной кристаллизации из истинных растворов следовало бы ожидать появления зерен кварца и, например, пластинок гематита. Слоистое концентрически зональное распределение частичек рудного материала проще объяснить диффузией и ритмическим осаждением в коллоидной среде. Многие концентрически-слоистые сферолиты халцедона в разрезе весьма напоминают диффузионные кольца Лизеганга. Для почковидных агрегатов весьма характерны трещины усыхания.

Гель кремнезема, так же как и гидрат окиси железа, обладает сильными адсорбционными свойствами. Те незначительные (0,01—0,03%) концентрации урана, которые отмечаются в большинстве прожилков. (за исключением прожилков, пересекающих благоприятные в литологическом отношении породы) вполне могли быть созданы адсорбционным процессом в период соприкосновения выпавшего гидрогеля кремнезема и окислов железа с просачивающимися гидротермальными растворами. Последнее, очевидно, в отношении урана были весьма слабо минерализованы. Сказанное подкрепляется еще и тем, что вмещающие существенно известковистые (гроссуляровые скарны, мраморы) породы не могли оказать заметного влияния на процесс отложения урана, так как они по существу не взаимодействовали с трещинными растворами. В местах пересечения прожилками «благоприятных» пород решающее влияние на осаждение урана оказывали восстановительные их свойства.

Образовавшиеся шарообразной или неправильной формы частицы кремнезема в начальные моменты, вероятно, обладали аморфной структурой. Об этом во всяком случае свидетельствуют экспериментальные электроннографические исследования З. Я. Берестневой и В. А. Каргина [2]. В дальнейшем внутри частиц протекали процессы раскристаллизации, причем, как показывают результаты экспериментальных исследований, раскристаллизация таких частиц может происходить довольно быстро. По данным Е. А. Рожковой и Н. П. Соловьева [12], сферолиты карбоната, образованные из коллоидного осадка, подвергаются раскристаллизации через 1,5—2 суток. В естественных условиях этот процесс совершается медленнее, причем находится он в зависимости от скорости падения температуры [16].

В условиях медленного охлаждения раскристаллизация происходит полно, и первично колломорфные структуры могут быть совершенно уничтожены. В связи с этим становится понятной та особенность, что колломорфные структуры характерны в большинстве случаев для месторождений неглубоких фаций.

О явлениях раскristаллизации минеральных выделений исследуемых прожилков свидетельствует, прежде всего, сочетание зернистой структуры агрегата и реликтовой коллоидной зональности, что является отражением неравномерности процесса раскristаллизации. При раскristаллизации происходит перемещение вещества, в частности, окислы железа «отгоняются» в периферические зоны почковидных и гроздевидных агрегатов. При этом перемещение, дифференциация вещества происходит главным образом в самые первые моменты раскristаллизации, а возможно еще и раньше, в гелевой среде, как, например, считают А. М. Кузьмин [6], Е. А. Радкевич [11].

При раскristаллизации, естественно, происходит «очистка» кремнезема и окислов железа от сорбированного урана, который, концентрируясь в межзерновом пространстве, в дальнейшем создает свои минеральные формы. Вероятно, в начальные моменты раскristаллизации геля образуется волокнистый халцедон, а также сферохалцедон. Среди агрегатов такого халцедона находились поровые растворы, насыщенные кремнеземом, которые способствовали его перекристаллизации; в результате чего возникали более крупные индивиды радиально-лучистого халцедона, а также мелкозернистого кварца (рис. 1). Перекристаллизация халцедона происходила и позже при наложении карбонатной минерализации. В участках пересечения яшмовидного кварца прожилками карбоната на границе халцедона с карбонатом всегда наблюдаются оторочки зернистого кварца.

Таким образом, раскristаллизация геля кремнезема в халцедон и последующие процессы его перекристаллизации в кварц способствовали перегруппировке урана и возникновению мельчайших включений урановой смолки. Что касается густоокрашенных слабополярных почек халцедона, где кремнезем находится в состоянии, очевидно, близком к аморфному, то уран в них, как показывают микрорадиографические исследования, существенной перегруппировки не претерпел и находится в рассеянном, возможно, сорбированном состоянии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Г. Бетехтин. О генетической минералогии и генезисе минералов. Зап. Всесоюз. минералогич. общ-ва, т. 88, № 1, 1954.
2. З. Я. Берестнева, В. А. Каргин. О механизме образования коллоидных частиц. Успехи химии, 24, вып. 3, 1955.
3. А. Н. Винчелл. Оптическая минералогия. Изд. иностр. лит., 1949.
4. Д. П. Григорьев. О генезисе натечных или метаколлоидных и коллоидных агрегатов. Зап. Всес. минералогич. общ-ва, № 1, 1953.
5. Ю. М. Дымков. Признаки кристаллизационного роста выделений настурана. Зап. Всес. минералогич. общ-ва, т. 89, вып. 6, 1960.
6. А. М. Кузьмин. Периодически ритмические явления в минералогии и геологии. Томск, 1947.
7. О. Д. Левицкий. К вопросу о значении коллоидных растворов при рудоотложении. Сб. «Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях». Изд. АН СССР, 1953.
8. А. Д. Ножкин. Некоторые формы проявлений урановой смолки и ее ассоциация с уранинитом. «Геология и разведка», 1963, № 9.
9. Основные черты геохимии урана. Изд. АН СССР, 1963.
10. Г. А. Пельмский. О влиянии вмещающих пород на процессы рудоотложения гидротермальных месторождений урана. «Геология рудных месторождений», 1959, № 6.
11. Е. А. Радкевич. О рудах коллоидного происхождения. Изв. АН СССР, сер. геол. № 2, 1952.
12. Е. В. Рожкова, Н. В. Соловьёв. К вопросу образования оолитовых и сферолитовых структур. ВМОИП, отд. геологии, 15, 1937.
13. П. В. Таусон. Геохимия редких элементов в гранитоидах. Изд. АН СССР, 1961.
14. Ф. В. Чухров. Коллоиды в земной коре. Изд. АН СССР, 1955.
15. Ф. Н. Шахов. Геология жильных месторождений. Изд. «Наука», 1964.
16. Ф. Н. Шахов. Текстуры руд. Изд. АН СССР, 1961.