

ПЕРЕОТЛОЖЕНИЕ ЗОЛОТА И КВАРЦА ПРИ ПРОЦЕССАХ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Н. В. ПЕТРОВСКАЯ (ЦНИГРИ)

Проблема сопряженности гидротермального рудообразования с метаморфогенными явлениями уже давно привлекает внимание геологов. Она рассматривалась в разных аспектах, но главным образом в связи с вопросами метаморфизма пород и его роли в локализации оруденения, околорудных изменений пород, преимущественно дорудных, и пострудного метаморфизма. Синрудные метаморфогенные явления, сказывающиеся на особенностях самих рудных образований, по существу выпадали из поля зрения исследователей. Упоминания о возможности их развития встречаются в отдельных работах [10, 8], но признаки их не анализируются.

Материалы наших наблюдений на различных золоторудных месторождениях Советского Союза позволяют утверждать, что «внутрирудные» преобразования минеральных агрегатов развивались широко, в разных геологических условиях, приобретая при этом черты определенных различий. Они возникали как следствие существования неравновесных систем: растворы — минеральные агрегаты, особенно в начале каждой новой стадии рудообразования [6]. Их выражением служат признаки деформации, перекристаллизации, растворения и переотложения минералов, их метасоматического замещения. Не ставя задачей характеризовать все эти гетерогенные явления, остановимся лишь на той их части, которая относится к интерминерализационным преобразованиям агрегатов жильного кварца и самородного золота.

Рудоносный кварц во всех золоторудных месторождениях несет следы более или менее сильных, нередко многократных изменений структур агрегатов. Среди них не всегда легко распознать преобразования, возникавшие до завершения рудного процесса. Наиболее отчетливо проявлены признаки внутрирудных динамических воздействий, поскольку к возникающим при этом зонам трещиноватости в жильном кварце приурочены проявления более поздней сульфидной минерализации. Эта особенность замечена уже давно и описана многими исследователями.

На примерах рудных полей Енисейского кряжа, Западного Узбекистана и некоторых других удалось показать, что на распределение поздней сульфидной и золотой минерализации влияют также неоднородно проявленные пластические деформации кварца, что свидетельствует об их интерминерализационном развитии [5, 1]. Подобные соот-

ношения характерны для месторождений формации относительно больших глубин. В месторождениях, формировавшихся на малых глубинах, проявлено лишь интерминерализационное растрескивание кварцевых агрегатов, дезинтеграция зерен, локальное дробление.

Развитие деформаций, особенно растрескивания, всюду сопровождалось переотложением кварца. При малых масштабах этих явлений происходило только залечивание тонких трещин в кварцевых агрегатах. Исследования Г. Г. Леммлейна [2] показали, что такое залечивание осуществлялось путем дендритной кристаллизации кварца, приводившей к капсулированию в нем обильных газовой-жидких включений. Нередко залеченные трещинки можно видеть в шлифах только по цепочкам таких включений, так как ориентировка зерен новообразованного кварца полностью одинакова с ориентировкой вмещающего кварцевого зерна. Характерной чертой интерминерализационных залеченных трещинок, отличающей их от сходной пострудной трещиноватости, является изменчивость мощностей и строения новообразованных прожилков. Наблюдаются переходы от капиллярных трещинок, фиксируемых, как указывалось выше, цепочками вторичных газовой-жидких включений, к прожилкам мощностью до 0,1—1,0 мм, в которых кварц сохраняет ориентировку кристалла-«хозяина», но резко обеднен газовой-жидкими включениями. Эти образования, обычно называемые «псевдожилками», при увеличении ширины трещинки приобретают неясногребенчатое строение (рис. 1) и затем переходят в типичные гребенчатые прожилки, замечаемые и макроскопически.

Связь новообразований кварца с явлениями растворения и переотложения вещества более ранних кварцевых агрегатов доказывается следующими данными. Не только псевдожилки, но и прожилки гребенчатого кварца развиты в пределах участков деформированных тел раннего кварца и исчезают в удалении от них. В ряде месторождений Забайкалья, Енисейского края, Урала замечено, что в таких участках трещины, секущие ранний кварц, несут следы разъедания станок, вплоть до образования щелевидных каверн. Прослеживаются различные стадии последующей регенерации сколов ранних зерен кварца и образования на них друзовых корок переотложенного кварца (рис. 1, б). Аналогичные корки образуются в неправильных пустотах, на месте выщелоченных обломков силикатных пород, цементирувавшихся агрегатами раннего кварца и расположенных на путях циркуляции поздних растворов. Очевидно, деятельность таких растворов была достаточно активной.

Приведенные данные не исключают возможности образования части гребенчатого кварца за счет нового привноса растворами кремнезема, в том числе выщелоченного из более глубоко расположенных кварцевых тел и богатых кварцем пород. Вероятно, рассматриваемые явления были сопряженными и роль каждого из них могла меняться в различных условиях.

О внутрирудном развитии переотложения кварца говорят следующие факты: а) с жилками переотложенного гребенчатого кварца нередко ассоциируют сульфиды, входящие в поздние минеральные парагенезисы; б) с участками их распространения связаны повышенные концентрации не только сульфидов, но и золота; прожилки гребенчатого кварца во многих месторождениях являются одним из признаков повышенной золотоносности рудоносных участков; есть основание относить к подобным признакам и интенсивное развитие псевдожилок в трещиноватом раннем кварце; в) в отдельных случаях наблюдаются текстуры многократных пересечений одних прожилков переотложенного кварца другими, а также жилками карбонатного и сульфидно-карбонатного состава. Такие текстуры обычно рассматриваются как показатели мно-

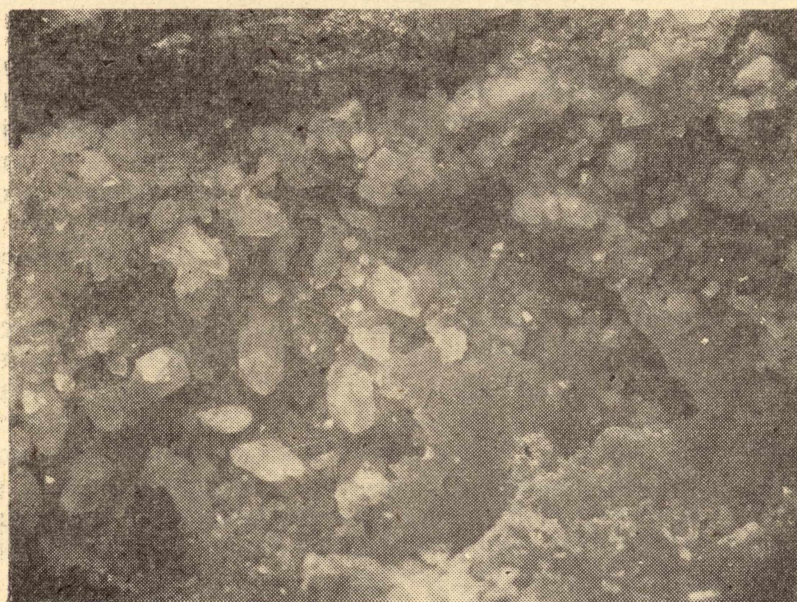


Рис. 1. Переотложенный кварц в золотокварцевых жилах Енисейского кряжа: а) неясногребенчатые прожилки в сильно деформированном раннем кварце: прозр. шлиф, ник. X, увел. 6; б) друзовые корки на стенках пустот выщелачивания в кварцевой жиле. Фотообразцы, увел. 6

гостадийности рудоотложения, но, учитывая приведенные выше данные, они скорее могут считаться признаками неоднократного переотложения минерального вещества.

В месторождениях, формировавшихся в разных условиях, переотложение кварца проявлено неодинаково. В рудных полях, относящихся к формации больших глубин (районы Енисейского кряжа и др.), распространены в основном псевдожилки и более редкие тонкие неясногребенчатые прожилки, лишь местами приобретающие четкое гребенчатое строение. В месторождениях, образованных в условиях средних глубин (Ключевское и Дарасунское в Забайкалье, Лебедино на Алдане и др.), резко увеличивается роль гребенчатых выделений кварца, возрастает мощность его прожилков, характерное значение приобретает друзовые полости. Продукты переотложения и отложения из новых

порций растворов здесь трудно различимы. В «эпитермальных» месторождениях широко развиты типичные мелкие гребенчатые прожилки переотложения, секущие полосчатые метакolloидные зоны раннего кварца и исчезающие за их пределами. Наряду с этим обнаруживаются пятнообразные и оригинальные округлые обособления мелкозернистого и неясногребенчатого кварца, с которым местами ассоциируется переотложенное золото. Образование таких обособлений может быть объяснено на основе представлений об особенностях локальных участков «промачивания» в капиллярно-пористых средах; специальные исследования показали, что такие участки стремятся приобретать сферическую форму и что в них развивается интенсивное растрескивание, диспергирование и переотложение минерального вещества [9].

Наблюдавшиеся в разнотипных месторождениях признаки приуроченности периодов максимального переотложения кварца к началу крупных стадий рудообразования послужили основанием для вывода о циклическом развитии многостадийного рудного процесса [6].

Особый интерес представляет вопрос об эндогенном переотложении золота и его возможном влиянии на локализацию богатых руд. Важно выяснить отношение к этому явлению разновременных выделений золота.

По мнению большинства исследователей и в их числе автора [4], в золоторудных месторождениях обычно присутствуют две главные генерации золота, первая из которых образует тонкодисперсную вкрапленность в сульфидах ранней ассоциации, а вторая — в виде более крупных выделений — сопровождает позднюю сульфидную ассоциацию. Есть основание считать, что растворению и переотложению подвергались обе генерации золота. Признаки развития процессов перегруппировки разновременных выделений золота различны.

Прямые исследования морфологии и распределения раннего тонкодисперсного золота, возможные только при помощи электронного микроскопа, находятся в начальной стадии; но даже ограниченные материалы показывают, что наряду с равномерно рассредоточенными ультрамелкими частицами золота наблюдаются их группы, тяготеющие к трещинкам, секущим зерна минералов. Неравномерность распределения тонкого золота в сульфидах, при повышенных его содержаниях в трещиноватых участках обнаруживается также путем анализа мономинеральных проб. При интерпретации таких соотношений нельзя не учитывать того, что не все дисперсное золото относится к ранней генерации и что поздние выделения в определенных условиях могут быть представлены субмикроскопическими неравномерно распределенными частями. Предполагать интерминерализационную перегруппировку тонкодисперсного золота позволяют следующие данные. Способность золота к диффузии в твердых кристаллических телах и в растворах, заполняющих капиллярные трещинки, доказана экспериментально [11, 12]. Хорошо известна также относительная легкость растворения ультрамелких частиц золота под воздействием щелочных растворов. В свете этих данных развитие процессов переотложения золота в природных условиях, при меняющихся температурах и давлении и изменчивом режиме кислотности-щелочности, представляется более чем вероятным. Убедительные доказательства переотложения золота удалось получить при изучении золотых руд Балейского района Забайкалья. Здесь жилки переотложенного гребенчатого кварца местами пересекают скопления раннего тонкодисперсного золота, обогащаясь при этом более крупным золотом; последнее исчезает в удалении от участков пересечения (рис. 2). По-видимому, укрупнение золотых частиц, предполагавшееся

как следствие пострудного метаморфизма [3], характеризует и интерминерализационные преобразования рудного вещества.

Косвенным доказательством предположения о существенной роли рассматриваемых явлений служит зависимость развития поздних выделений золота от положения участков концентрации ранних золотоносных сульфидов. Как отмечалось ранее [7], поздние минеральные парагенезисы богаты золотом только там, где они пространственно связаны с выделениями сульфидов ранней ассоциации. Такие соотношения отмечались в месторождениях Енисейского края, Ключевского рудного поля в Забайкалье и др. Расчеты показывают, что простая перегруппировка раннего тонкодисперсного золота в сульфидах могла создать резко повышенные концентрации золота во многих локальных участках. Последние обычно имеют значительно меньшие размеры, чем размеры зон развития ранней золотоносной сульфидной ассоциации. В других случаях величины содержаний оказываются несоразмерными, и есть основания допускать поздний привнос золота растворами. В этих условиях переотложение золота, как и кварца, вероятно, сопровождало деятельность новых порций растворов, в участках, где такие растворы были недосыщены золотом.

Если о перегруппировке тонкодисперсного раннего золота можно судить в основном по косвенным признакам, то растворение и переотложение позднего более крупного золота доказываются данными непосредственных наблюдений. На поверхности золотин (из месторождений Центрального Алдана, Южного Урала, Забайкалья и других районов) мы обнаруживали ямки природного травления, распределенные резко неравномерно. Особенно отчетливы они на поверхности, ориентированной параллельно (III) кристаллическим зернам золота, где можно видеть характерные тригональные углубления. При более сильном растворении они становятся полигональными и теряют четкие очертания, приобретая вид изометричных ямок. Аналогичные соотношения наблюдались при травлении золота в лабораторных условиях. От гипергенной коррозии золота, обычно приводящей к развитию в целом матовых поверхностей золотин, ямки внутрирудного травления отличаются большей правильностью форм, неравномерным распределением, местами — ступенчатой регенерированной поверхностью стенок (заметной при больших увеличениях), отсутствием связи с выделениями гипергенных минералов.

Признаки растворения и переотложения золота наблюдаются в одних и тех же или близких участках рудных тел. Новообразования золота сравнительно легко различимы в тех случаях, когда они представлены наростами на корродированных золотилах; они имеют вид

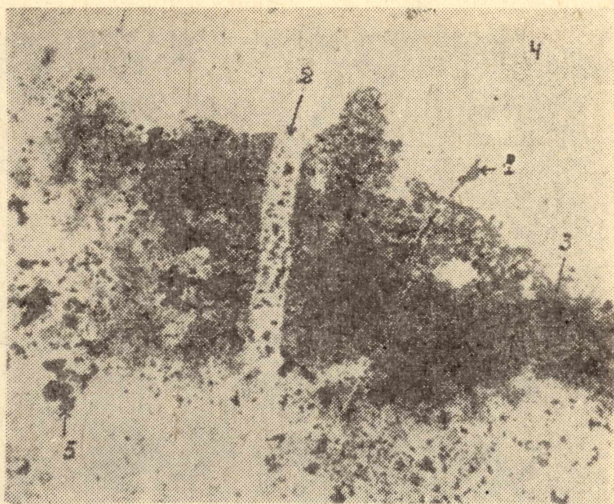


Рис. 2. Переотложенное золото в трещинках (1) и в жилках гребенчатого кварца (2), секущих узкую зону скоплений пылевидного раннего золота (3), расположенную в полосчатом халцедоновидном кварце (4). Заметны также неправильные формы участки перекристаллизации кварца с укрупненными включениями золота (5). Балейское рудное поле, глубокие горизонты. Прозрач. шлиф без анализатора, увел. 15

неправильных бородавчатых или моховидных новообразований, или хорошо выраженных кристалликов, дендритов, проволочек. Величины их несоразмерны с величиной обрастаемой золотины и колеблются в широких пределах, от первых микронов до первых миллиметров. Характерна тенденция новообразованных кристалликов золота к закономерной ориентировке, зависящей от кристаллографической ориентировки поверхности золотин, на которую они нарастают, т. е. подчиняющейся законам автоэпитаксии. На поверхности золотин, сохраняющих признаки дендритового строения, методами электронной микроскопии обнаружены тончайшие (доли микрона) наросты также дендритового строения (рис. 3). Гипергенное золото таких наростов не образует.

Переотложение позднего сравнительно крупного золота, судя по имеющимся данным, развивалось локально, и его масштабы значительно уступали масштабам перегруппировки тонкодисперсного раннего золота; возможно, оно сказывалось на конфигурации обогащенных золотом участков и влияло на их внутреннее строение, усиливая неравномерность распределения золота. Если справедливо предположение, согласно которому крупные выделения золота второй продуктивной стадии являлись продуктами переотложения более раннего тонкодис-

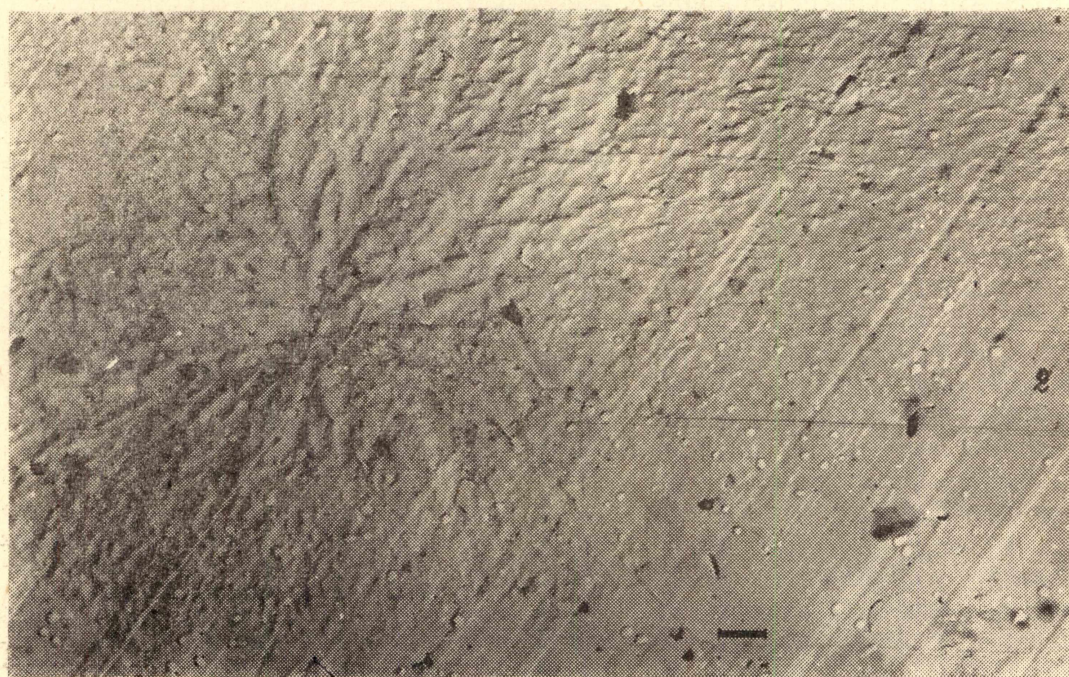


Рис. 3. Дендритовидные новообразования переотложенного золота (1) на поверхности грани (III) пластинчатого кристалла золота (2). Балейское рудное поле, Забайкалье. Снимок выполнен К. Е. Фроловой в лаборатории электронной микроскопии ИГЕМ АН СССР. Целлюлозноугольная реплика, увел. 4000

персного золота, то следует признать, что переотложение золота развивалось неоднократно, повторяясь в разные стадии рудного процесса. Растворенное золото затем отлагалось, в первую очередь, на поверхности сохранившихся золотин, располагавшихся на путях движения растворов. При длительном развитии подобных процессов они могли приводить к формированию наиболее богатых рудных столбов и золотых самородков в их пределах. С высказанной гипотезой согласуются факты наличия в самородках включений полупрозрачного шестоватого или гребенчатого кварца, обладающего характерными чертами переотложенных образований, а также особенности внутреннего строения самородков, со следами реликтовых включений отдельных золотин. Таким

объяснением снимаются многие противоречия, возникающие при попытках связать генезис золотых самородков с гипергенными процессами.

Новообразования золота в генетически разнотипных месторождениях неодинаковы по форме: в месторождениях формаций больших и средних глубин они представлены простыми кристалликами и их сростками (преобладают формы октаэдров и вытянутых ромбических додекаэдров), в «эпитермальных» рудах — тончайшими дендритами, моховидными и плоскими, а также сложными по форме, нередко уплощенными по (III) кристалликами.

Мы ограничились своей задачей рассмотрением и сравнительным анализом конкретных признаков, позволяющих распознавать продукты интерминерализационных преобразований минералов, поскольку именно в этой области ощущается определенный дефицит знаний, при котором четкие доказательства иногда заменяются общими рассуждениями о вероятности развития предполагаемых явлений. Исследования механизма процессов растворения и переотложения золота и кварца, как и физико-химическая их характеристика, остаются задачами будущих работ. Дальнейшее накопление материалов позволит более полно охарактеризовать значение рассматриваемых явлений и подойти к определению масштаба их развития в различных геологических условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бадалова Р. П. О кварце и его метаморфизме в золотоносных жилах Зап. Узбекистана. Сб. «Вопросы минералогии и геохимии». Изд. «Наука», Ташкент, 1964.
2. Леммлейн Г. Г. Процесс залечивания трещин в кристалле и преобразование форм полостей вторичных жидких включений. ДАН СССР, т. 78, № 4, 1951.
3. Крейтер В. М. Размеры частиц золота, как признак пострудного метаморфизма. Изв. АН СССР, сер. геол., № 1, 1948.
4. Петровская Н. В., Тимофеевский Д. А., Дембо Т. М., Бернштейн П. С., Боришанская С. С., Бабинцев Н. И. К вопросу о времени выделения золота в рудных месторождениях. Тр. НИГРИЗолото, вып. 16, 1947.
5. Петровская Н. В. Некоторые особенности внутрирудного метаморфизма золото-кварцевых образований, на примере месторождений Енисейского кряжа. Тр. НИГРИЗолото, вып. 21, 1956.
6. Петровская Н. В. Характер золотоносных минеральных ассоциаций и формации золотых руд СССР. Докл. сов. геол. на XXI сессии межд. геол. конгресса. ГОНТИ, М., 1960.
7. Петровская Н. В. Минеральные ассоциации в золоторудных месторождениях Советского Союза. Тр. Центр. горно-разв. инст., вып. 76, 1967.
8. Попков Н. Н. О генерациях золота в гидротермальных месторождениях Северо-Западного Тянь-Шаня. Зап. Киргиз. отдел. Всесоюзн. минер. общ., № 5, 1965.
9. Поспелов Г. Л. О природе границ метасоматических тел и роли гидротермального промачивания при их образовании. В кн.: «Физ.-хим. проблемы образ. горн. пород и руд». М., изд. АН СССР, 1963.
10. Унксов В. А., Иванова Т. Н. К минералогии Балейского золоторудного месторождения. «Сов. геол.», 1945, № 7.
11. Clark L. A. The Fe-As-S system: Phase relations and application pt I—II. *Ec. geol.* vol. 55, № 7—8, 1960.
12. Okkerse B. Self-Diffusion of gold. *Phys. Rev.* vol. 103, № 5, 1956.