

О МЕХАНИЗМАХ ЖИЛООБРАЗОВАНИЯ НА КВАРЦЕВО-ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

П. Ф. ИВАНКИН, К. Р. РАБИНОВИЧ, В. Н. АКЧУРИНА (СНИИГГИМС)

Представления о механизмах гидротермального жилобразования получены путем изучения морфологии жил и взаимоотношений их в пространстве, а также закономерностей ветвления, выклиниваний и сопряжений жил друг с другом. Необходимую информацию дает также изучение состава, внутреннего строения, текстурно-структурных особенностей и зональности жил. Авторы проанализировали и сопоставили подсбные данные по некоторым жильным золоторудным месторождениям Западной Сибири, Забайкалья, Казахстана и Урала. Ими учтены также материалы многочисленных исследований жильных месторождений, итоги которых обстоятельно рассмотрены в монографиях Н. И. Бородаевского [1] и Ф. Н. Шахова [7].

Основной структурно-морфологической единицей жильного золоторудного месторождения является пучок жил, представляющий собой систему жил, расходящихся и разветвляющихся по восстанию структур из одного общего для них центра [2, 3, 4, 5]. Структурно-морфологические особенности таких систем указывают на гидродинамическое единство потока жилобразующих растворов и многоструйное ветвление его при движении снизу вверх. Разветвление жильных систем связано со свойством гидротермального флюида расширяться в объеме и рассредоточиваться в пространстве при проникновении его из области высокого внешнего давления (глубокие горизонты месторождения) в область относительно низкого давления (средние и верхний горизонты месторождения).

Это явление особенно типично для субвулканических месторождений золота [7, 8, 9]. На таких месторождениях, как Балей, Ключи, Дарасун (Забайкалье), Дялу Кручи, Бая Сирие (Румыния), Крипл Крик (США), Вайи (Новая Зеландия), рудные жилы многократно ветвятся и нередко переходят по восстанию в зоны прожилковых и штокерковых руд. Напротив, в более глубинных месторождениях плутонической группы изменения внешнего давления ощутимы лишь на сравнительно больших расстояниях по вертикали и потому разветвление жильной системы обнаруживается лишь при сопоставлении далеко отстоящих ее уровней, т. е. на особенно глубоко разведанных месторождениях (Джетыгара, Кочкарь, Бестюбе, Ольховское и др.). Общее уменьшение внешнего давления к поверхности обуславливает при формировании месторождения не только увеличение снизу вверх количества жильных тел,

но и возрастание общей длины жил и количества кварца. Так, например, на северном участке Балея, между I и VII горизонтами общая длина жил увеличивается от 234 м до 2640 м, а объем жильного кварца к поверхности увеличивается в 4—5 раз. В Джетыгаринском пучке жил (центральный участок) объем кварца, размещенного в интервале от поверхности до глубины 100 м, составляет около 50% общего объема кварца в данном жильном пучке. С глубиной количество его сокращается и достигает в интервале от 100 м до 200 м — 30%, в интервале от 200 м до 300 м — 10—15% и, наконец, в интервале от 300 до 400 м — менее 10% запасов кварцевой руды. Подсчеты на месторождении Бестюбе (центральный участок) показали, что от поверхности до глубины 340 м происходит уменьшение количества рудных жил в 4—5 раз, общей длины жил в 7 раз и общего количества жильного материала в 7—8 раз.

В системе жильного пучка обычно выделяется одна или несколько крупных (стволовых) жил, фиксирующих собой главные струи гидротермального потока, от которых ответвляются более мелкие жилы и апофизы. Этим отдельным крупным жилам также свойственно явление жильного пучка; оно выражается на продольных проекциях жил в веерообразном расширении контура жильного тела. При этом горизонтальная длина жилы на верхних этажах месторождения увеличивается многократно по сравнению с ее длиной на нижних. Углы расхождения контура жил по восстанию в разных условиях различны и они определяют многообразие форм продольных проекций жил, а в конечном счете — многообразие форм жилообразующего потока в трещине.

Особенности морфологии и строения жильных систем и отдельно взятых жил свидетельствуют о центробежном развитии гидротермального процесса. При этом жилообразование происходило отнюдь не при пассивном заполнении полостей флюидами, как это предполагает гипотеза всасывания. Напротив, структурно-морфологические особенности жил и жильных пучков говорят в пользу того, что колонна гидротермального раствора обладала по отношению к общему литостатическому давлению избыточной энергией, достаточной для активного «завоевания пространства» в сжатых трещитовато-пористых породах, не содержащих в общем случае открытых полостей. Как показывают наблюдения за фронтальными выклинками жил и их апофиз, стенки сжатых трещин раздвигались раствором путем гидроразрыва до пределов, уравнивающих избыточное давление раствора. Поэтому мощности жил закономерны, так как они причинно связаны с избыточным давлением растворов и стресс-тектоническим состоянием вмещающих пород в период жилообразования. Изменения мощности жилы (и иногда значительные) в общем случае указывают на меняющиеся соотношения внутреннего давления флюида и внешнего давления на стенки трещин. Приуроченность жил только к определенно ориентированным трещинам может свидетельствовать о том, что инъекция гидротермального флюида осуществлялась по принципу наименьшей затраты энергии. Жиловмещающие трещины были менее нагруженными, а другие дорудные трещины оказывались «энергетически невыгодными» для проникновения в них раствора: давление на стенки таких трещин превышало внутреннее давление во флюиде. Большая мощность ствольных жил определяется наибольшим внутренним давлением в главной струе гидротермального потока. На определенных расстояниях от главной струи избыточное давление в боковых струях флюида падало настолько, что гидроразрыв сжатых трещин становился невозможным и поэтому образование апофиз прекращалось. Постепенное утонение жилы по восстанию до полного ее исчезновения (самый распространенный тип выклинка жил) также

указывает на постепенное падение давления во флюиде до того минимума, при котором гидроразрыв сжатых трещин прекращался.

Рассмотренный авторами способ образования кварцевых жил вполне согласуется с представлением о значительной плотности жилообразующего флюида. Об этом же говорят и такие факты: текстурные эффекты нагнетания неотвердевшего вязкого жильного вещества в трещины, активное механическое воздействие флюида на стенки трещин, отпечатки неровностей трещин на контактовой поверхности жил, присутствие подвешенных угловатых обломков боковых пород в жильной массе, случаи вращения и транспортировки на значительные расстояния таких обломков при инъекции жильного вещества, расплывание фрагментов крупного обломка при проникновении жильного вещества в нарушающие его трещины, деформация при движении флюида мелких пластин сланцевых пород, отшнурование жилы и желвакообразование кварца, герметизации в кварце крупных газовых пузырей. Эти особенности жил, по мнению авторов, исключают возможность представлять жилообразующие растворы в виде традиционных «разбавленных истинных растворов».

В настоящее время среди исследователей жильных месторождений господствует мнение о многоактном пульсационном поступлении гидротермальных растворов в трещины из глубинного очага. Сравнительный анализ данных по прерывности минералоотложения в месторождениях показывает, что жильные пучки формируются, как правило, при трех- и четырехкратной пульсации рудоносных очагов в такой, примерно, последовательности: внедрение кислых расплавов, метасоматическое изменение околотрещинных пород (лиственитизация, березитизация, турмалинизация, каолинизация и др.); внедрение средних и основных даек, инъекция золотоносных кремнистых растворов. Однако нет прямых доказательств, что глубинная пульсация имела место и при образовании самих продуктивных кварцевых жил. Рассмотрим этот вопрос подробнее.

В золотоносных жилах обычно выделяется до 4—6 минеральных ассоциаций, формирующихся в определенной возрастной последовательности [6]. Вначале кристаллизуется основная масса «безрудного» кварца, составляющего 80—95% объема жил. Ему часто сопутствуют альбит, шеелит, пирит, арсенопирит и небольшое количество золота. Эта рано кристаллизующаяся часть раствора характеризовалась относительной бедностью летучими. Затем кристаллизуется продуктивный кварц (обычно нескольких генераций), обогащенный газовой жидкостью включениями и содержащий карбонаты, сульфиды, сульфосоли и теллуриды металлов, а также главную массу золота. Завершающая стадия минералообразования обычно представлена кварц-карбонатными ассоциациями. В одних случаях продуктивные жилы слабо дифференцированы (Коммунар, Джеламбет), в других — дифференцированы полно (Дарасун, Балей, Ольховское, Сарала, Бестюбе и др.). При этом намечается зависимость количества разновременных минеральных ассоциаций (стадий минерализации) в жилах от степени удаленности их от рудоносного источника. Рудные тела, располагающиеся неподалеку от породившего их источника, сравнительно однородны. Относительно далеко удаленные жилы отличаются большим многообразием минеральных ассоциаций. Так, на Коммунаровском рудном поле штокверковые руды в диоритах представлены по существу одной минеральной ассоциацией, в то время как кварцевые жилы, располагающиеся над штокверками (Ж. Январская) или в их верхних горизонтах, состоят из нескольких разновременных ассоциаций. Такая же тенденция намечается и для центрального участка Джеламбета. Количество стадий минерализации

зависит также от глубины формирования месторождений: в близповерхностных месторождениях проявляется до 7—8 и более стадий минерализации (Балей); в глубинных месторождениях количество стадий жилообразования мало.

Продукты поздних стадий и связанная с ними главная масса золота распределялись в жильном пучке неравномерно, что приводило к формированию различного рода зональности оруденения и образованию рудных столбов. Это явление подробно описано в литературе [1, 7]. Отметим одну общую закономерность пространственного размещения оруденения, а именно: уменьшение с глубиной продуктивности жил. Эта закономерность устанавливается для многих глубоко вскрытых горными выработками и полно оконтуренных месторождений, сформированных в различной геологической обстановке, и поэтому она не может быть обусловленной только локальными причинами. Мы видели, что с глубиной в жильных системах закономерно уменьшается количество рудных тел, общий объем жильного материала, а также запасы и средние содержания золота в рудах. Наравне с этим происходит уменьшение роли продуктивных минеральных ассоциаций и сокращение количества стадий минерализации. Максимально продуктивными оказываются верхние наиболее расширенные в объеме зоны жильного пучка. Это же явление присуще и отдельным крупным и хорошо разведанным телам жильного пучка. Как видно из прилагаемых графиков, изменения на глубину горизонтальной длины жил и средних содержаний золота прямо взаимосвязаны (рис. 1).

Эти и другие особенности процесса жилообразования, по мнению авторов, отражают не столько пульсацию глубинного источника, сколько фазовое расслоение многокомпонентного гидротермального флюида в процессе его движения от корневых частей жильных пучков к фронтальным. Последовательность стадий жилообразования определяется в конечном счете очередностью раскristаллизации обособившихся фаз. В свою очередь последовательность кристаллизации гидротермальных фаз регулируется физико-химическими их свойствами; вначале твердеют существенно кремнистые гели, формирующие основную часть жилы, затем кристаллизуются сложные многокомпонентные щелочно-сульфидно-кремнистые (относительно легкоподвижные) и, наконец, водноуглекислые остаточные растворы. Надвигание на твердеющий кремнезем поздних фаз раствора и кристаллизация последних осуществляются в разных тектонических условиях и приводят к образованию широко распространенных типов текстур жильных руд. При этом поздние фазы (стадии) раствора активно воздействовали на ранее образованные продукты жил и боковые породы и вызывали в них перекристаллизацию, растворение и метасоматическое изменение.

С рассматриваемых позиций находят объяснение многие стороны жилообразования, неудовлетворительно освещенные теорией глубинной пульсации рудоносных растворов. Так, в частности, нераскрытыми этой теорией остаются вопросы, почему поступление растворов из глубинного очага при собственно жилообразовании всегда начинается с порций сравнительно малоподвижных растворов, а заканчивается порциями легкоподвижных и обогащенных летучими и минерализаторами растворов (при глубинной пульсации следовало бы ожидать уход из очага в первую очередь наиболее летучих соединений); почему продукты более поздних золотоносных стадий занимают верхние наиболее расширенные в объеме зоны жильных пучков, а с глубиной сокращаются и полностью выклиниваются. Очевидно, постоянная приуроченность продуктивных минеральных ассоциаций к верхним частям жил и жильных пучков и затухание золотоносности с глубиной происходят потому,

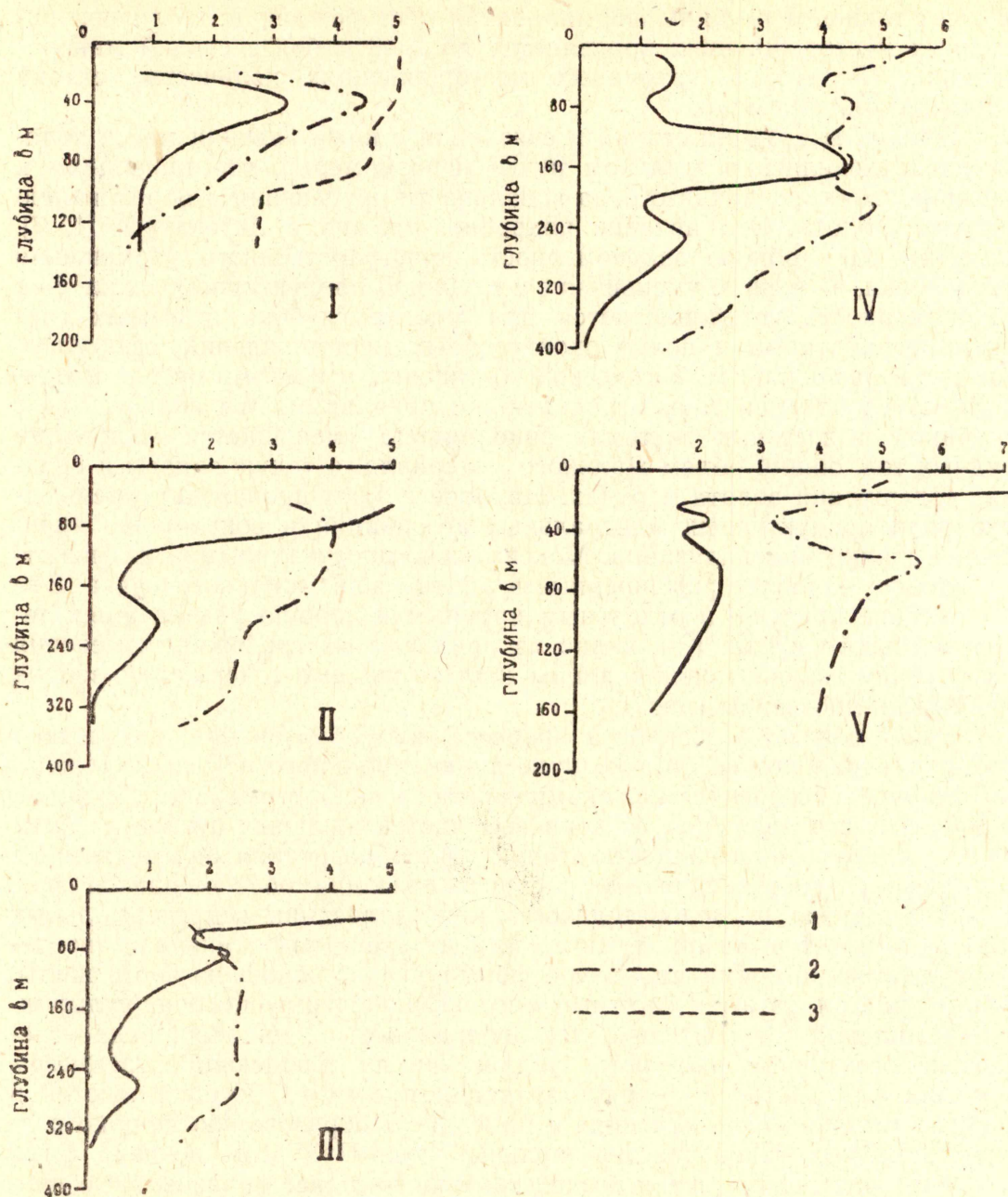


Рис. 1. Графики, иллюстрирующие характер изменения с глубиной содержания золота (1), горизонтальной длины (2) и мощности (3) некоторых глубоко вскрытых жил (в условных единицах): I—жила Январская (Коммунар), II—жила № 5 и III—жила Коренная (Джетыгара), IV—жила Троицкая (Степняк), V—жила Аягановская I (Акжал)

что легкоподвижные продуктивные фазы, обособившиеся в процессе восстающего движения гидротермальной колонны, дольше удерживались в жидкостном состоянии (в то время как существенно кремнистые фазы твердели), а это способствовало их более дальней миграции вверх. Пространственное совпадение расширенных в объеме частей жильных систем с зоной максимальной продуктивности минерализации и прямая связь горизонтальной длины жилы и среднего содержания золота в рудах указывают на внутреннюю зависимость между дифференциацией флюида и морфологией его колонны.

Таким образом, не глубинная пульсация рудоносных растворов, а фазовое расслоение и кинетическая дифференциация в процессе инъекции комплексного жидкообразующего раствора запечатлены в неравномерном распределении в жилах продуктов разновременных стадий минерализации. Поэтому можно думать, что текстуры жильного кварца отражают сложную предкристаллизационную дифференциацию растворов и определенную последовательность кристаллизации фаз. Например, широко распространенные в золотоносных кварцевых жилах полосчатые и ритмично-полосчатые текстурные узоры могут характеризовать расслоение на несмешивающиеся жидкие фазы (ликвацию) раствора и близко одновременную кристаллизацию обособившихся фаз. При этом концентрически-зональные текстуры жил, обусловленные многократным чередованием концентрических зон различного состава вокруг одного центра (обломка боковой породы), будут отражать расслоение раствора на месте своего залегания без существенной миграции в пространстве. Напротив, полосчатые текстуры должны указывать на ликвационное расслоение плотного раствора в процессе его значительного перемещения (инъекции) по трещинам. Прожилковые и брекчиевые текстуры (цементация поздним продуктивным кварцем обломков дорудного кварца) указывают на определенный перерыв в кристаллизации обособившихся фаз и надвигание на ранний (ранее твердеющий кварц) более сложных по составу, обогащенных сульфидами и золотом, кремнистых фаз, более подвижных и позже кристаллизующихся. Некоторые друзовые пустоты в кварцевой жиле могут возникать вследствие герметизации газовой-жидких фаз быстро твердеющим вязким кремнистым гелем. Вкрапленность минералов поздних стадий в дорудном кварце, видимо, далеко не всегда имеет метасоматическую природу. Вероятно, чаще, чем принято считать, такая вкрапленность имеет капельно-эмульсионное происхождение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бородаевский Н. И. Материалы по методам изучения структур и геологической перспективной оценке месторождений золота. Тр. ин-та ЦНИГРИ, вып. 35, 1960.
2. Булынников В. А., Рабинович К. Р. К методике морфогенетического изучения золоторудных полей Сибири и Казахстана. Тр. СНИИГГИМС, вып. 44, Новосибирск, 1967.
3. Булынников В. А., Зубков Ю. Д., Рабинович К. Р. Опыт объемного изучения рудных полей Сибири. Тр. СНИИГГИМС, вып. 44, Новосибирск, 1967.
4. Булынников В. А. Морфогенетические особенности Ольховского рудного поля. Изв. Томск. политехн. ин-та, т. 134, 1968.
5. Иванкин Л. Ф., Рабинович К. Р., Акчурина В. Н. Морфогенез кварцевой жилы. Сб. «Геология и полезные ископаемые Забайкалья», Чита, 1967.
6. Петровская Н. В. Характер золотоносных минеральных ассоциаций в формации золотых руд СССР. Сб. «Генетические проблемы руд». М., Госгеолтехиздат, 1960.
7. Шахов Ф. Н. Геология жильных месторождений. М., Изд-во «Наука», 1964.
8. Шнейдерхен Г. Рудные месторождения. М., Ил, 1958.
9. Щербаков Ю. Г. О некоторых особенностях золоторудных месторождений Трансильвании. «Геология и геофизика», 1960, № 6.