

## О РОЛИ ПРОЦЕССОВ РЕГИОНАЛЬНОГО МЕТАМОРФИЗМА И УЛЬТРАМЕТАМОРФИЗМА В РАЗВИТИИ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ

В. А. БУРЯК, Ф. А. ЛЕТНИКОВ (Институт земной коры СО АН СССР)

В развитии золотого оруденения, особенно представленного древними докембрийскими формациями, достаточно четко проявлена тесная зависимость от характера регионального метаморфизма вмещающих пород, синхронного во времени процессам оруденения. Повышенные концентрации золота, заслуживающие практического значения, обычно локализуются в зоне развития зеленосланцевой фации метаморфизма преимущественно в хлорит-серицитовый и частично — в биотит-хлоритовой субфациях (Обручев, 1963; Радкевич, Моисеенко, 1966; Шер, 1963; Буряк, 1964). Более интенсивно метаморфизованные породы, особенно в условиях амфиболитовой и гранулитовой фаций, в подавляющем большинстве случаев лишены существенных концентраций золота. Эта зависимость характера золотоносности от степени регионального метаморфизма, синхронного во времени процессу оруденения, достаточно четко выражена (Ленский золотоносный район, Северо-Западное, Западное и Юго-Западное Прибайкалье, Бирюсинский район, Сев. Казахстан) и с успехом может использоваться в практике ведения поисково-оценочных работ как на рудное, так и на россыпное золото, а также при различного рода прогнозных и металлогенических исследованиях. При этом лишь следует иметь в виду, и мы это особо подчеркиваем, что речь идет о метаморфической зональности (процессах регионального метаморфизма), связанной с одним и тем же, что и золотое оруденение, этапом регионального метаморфизма, ультраметаморфизма и палингенического магматизма.

Если оруденение и проявленная во вмещающих породах региональная метаморфическая зональность существенно разорваны во времени и связаны с различными тектоно-магматическими периодами или этапами, то указанная зависимость интенсивности золотого оруденения от степени метаморфизма вмещающих пород может не наблюдаться. Примером этому являются золоторудные месторождения, развитые среди гранито-гнейсов и метаморфических толщ амфиболитовой фации (Колар в Индии, Средне-Витимская горная страна, Саяны, Дальний Восток). Золото в таких месторождениях связано с новым тектоно-магматическим этапом, наложенным по отношению к предшествующему высокотемпературному региональному метаморфизму вмещающих пород. Однако синрудные метаморфические процессы изменения вмещаю-

щих пород (околожилные изменения) и в этом случае отвечают фации зеленых сланцев<sup>1</sup>.

Существенно усложняет выявление указанной зависимости между оруденением и степенью метаморфизма вмещающих толщ наличие полифациальности и многоэтапности в развитии метаморфизма той или иной территории. Во всех случаях породы, метаморфизованные в условиях зеленосланцевой фации метаморфизма, потенциально наиболее благоприятны для развития повышенных концентраций золота и при всех прочих равных условиях среди них локализовано подавляющее большинство месторождений, особенно если учитывать их по промышленной значимости.

Как уже нами подчеркивалось (Буряк, 1967), устанавливается характерная различнофациальная колонна регионально-метаморфических образований — метаморфическая зональность, в которой золото занимает вполне определенное место, обусловленное его геохимическими свойствами. При этом в зоне амфиболитовой фации формируются слюдоносные, редкометалльные и керамические пегматиты, в эпидот-амфиболитовой фации — «пустые» незолотоносные кварцевые жилы и иногда редкометалльное и редкоземельное пневматолито-гидротермальное оруденение, в биотит-хлоритовой субфации — слабозолотоносные кварцевые жилы и пирит-пирротиновая минерализация во вмещающих породах, в хлорит-серицитовой субфации — основная масса наиболее богатых золотоносных кварцевых жил и несколько слабее развитая, по сравнению с хлорит-биотитовой субфацией, золотосульфидная минерализация преимущественно пиритового состава. Характерно, что по мере перехода из одной фации метаморфизма в другую постепенно направленно меняется не только золотоносность жильного кварца и содержание в нем различных минералов и элементов, но и его цвет, значения  $pH$ , температура перехода  $\alpha = \text{кварца в } \beta = \text{кварц}$  и прочие химические свойства. Так, в хлорит-серицитовой субфации он преимущественно серого и серовато-белого цвета, часто с магнезиально-железистыми карбонатами и альбитом, сульфиды в нем представлены преимущественно пиритом. В биотит-хлоритовой субфации кварц несколько более темный темно-серого и серого цвета, и сульфиды в нем представлены пиритом и пирротинном, присутствующими примерно в равных соотношениях. В эпидот-амфиболитовой фации кварц часто дымчатый, темно-серый, обычно без сульфидов или с небольшим количеством пирротина, иногда присутствует дистен и мелкие кристаллы зеленого мусковита. В амфиболитовой фации характерны жилы слюдоносных гранит-пегматитов.

Учитывая поясовое, зональное расположение указанных различнофациальных метаморфических зон вокруг глубинных разломов, можно полагать, что отмеченная зональность оруденения, как и метаморфизм вмещающих толщ, обусловлены поступлением по зонам разломов глубинных метаморфических («сквозьмагматических», по Д. С. Коржинскому) растворов. В этом случае отмеченные зоны с различной интенсивностью золотой минерализации можно рассматривать как составные части (различные сечения) единой длительно развивающейся колонны метаморфических, точнее, метаморфогенно-метасоматических образований. Напрашивается довольно определенный вывод о тесной связи оруденения с процессами регионального метаморфизма и ультраметаморфизма. Если бы эта связь отсутствовала, то мы бы не имели такой

<sup>1</sup> Гидротермальное изменение, особенно эффузивно-осадочных толщ (например, пропилитизация), очень сходно с породами зеленых сланцев. Но на этом основании нельзя пока что гидротермальные изменения отождествлять с региональным метаморфизмом фации зеленых сланцев. Вопрос этот не решен и требует тщательного изучения (прим. ред.).

постоянно четко выраженной приуроченности золота к зеленосланцевым фациям регионального метаморфизма.

Следует также подчеркнуть, что указанная метаморфическая зональность сформировалась в прогрессивный этап рассматриваемого регионального метаморфизма, образуемые же в этот этап минеральные ассоциации могут быть прогрессивными или регрессивными по отношению к минеральному составу исходных пород в зависимости от степени предшествующего метаморфизма. Так, например, если процессы метаморфизма амфиболитовой фации будут накладываться на породы, ранее метаморфизованные в условиях гранулитовой фации, то новообразованные минеральные ассоциации будут регрессивными по отношению к исходным, хотя они и сформировались в прогрессивный этап этого нового наложенного вида метаморфизма<sup>1</sup>.

Четко выраженная зависимость золотого оруденения от степени метаморфизма вмещающих пород особенно хорошо проявлена в Ленском золотоносном районе (Буряк, 1964). В общем виде эта зональность проявляется и в региональном масштабе в зоне сочленения юга Сибирской платформы со складчатым обрамлением (Буряк и др., 1966). Здесь отмечаются четыре основных различнофациальных метаморфических зоны с типоморфным для каждой зоны оруденением: в амфиболитовой зоне развиты различного рода пегматиты, в эпидот-амфиболитовой — редкометальное оруденение, в зеленосланцевой — золотое и в цеолитовой фации — полиметаллическое оруденение. Подобная зональность намечается в Саянах и Енисейском кряже. Очевидно, можно говорить о металлогенической специализации различнофациальных метаморфических комплексов.

Указанная тесная зависимость оруденения, в рассматриваемом случае золотого, от степени регионального метаморфизма вмещающих пород может быть обусловлена, как нам представляется, следующими факторами.

Как показано в целом ряде работ (А. Энгель, Д. А. Великославский и др.) и подтверждается нашими исследованиями, региональный метаморфизм не является изохимичным и с известных ступеней приводит к накоплению в породах одних элементов и миграции из них других.

Прогрессивный региональный метаморфизм в условиях гранулитовой и эклогитовой фаций направлен в сторону повышения основности пород, вплоть до исчезновения свободного кремнезема; происходит резкое уменьшение  $H_2O$ ,  $K$ ,  $Na$  и суммарное увеличение содержания  $Mg$ ,  $Ca$ , и  $Fe$  (Белоусов, 1966). В условиях более низкотемпературных фаций метаморфизма также происходит направленная миграция различных элементов. Так, в зоне амфиболитовой фации по сравнению с более низкотемпературными фациями обычно увеличивается суммарное содержание окиси и закиси железа, а также магния и кальция. Одновременно намечается уменьшение содержания глинозема.

Суть этих явлений заключается в следующем. Общеизвестно, что по мере возрастания степени метаморфизма парциальное давление кислорода в земной коре уменьшается. На фоне нарастающего дефицита кислорода в условиях высоких фаций метаморфизма должно происходить разделение элементов на две группы, в зависимости от их сродства к кислороду. Элементы с большим сродством к кислороду будут создавать свои собственные соединения (окислы или силикаты), а те, у которых величина сродства мала для данных условий, должны испытывать тенденцию к миграции в зоны более слабого метаморфизма.

<sup>1</sup> Автор, к сожалению, не указывает примеры таких наложений в природе (прим. ред.).

характеризующиеся меньшими значениями  $P$  и  $T$  и более высокой активностью кислорода. Мерилом химического сродства элементов является величина изобарно-изотермического потенциала образования данного соединения ( $\Delta Z$ ); более детально этот вопрос был рассмотрен ранее (Летников, 1965), когда были построены ряды «самородоносности элементов», характеризующие степень сродства рудных элементов к кислороду и сере. В интервале температур от 100 до 1000°C золото замыкает ряды самородности, что указывает на минимальное химическое сродство его к кислороду и сере. Это обстоятельство предопределяет наиболее активную миграцию золота из метаморфизируемых пород при возрастании  $T$  и  $P$ . Формы миграции, очевидно, могут быть различными в зависимости от характера метаморфизма. Преобладающими для обычного регионально-геотермического метаморфизма<sup>1</sup> являются: миграция в поровых растворах и миграция по вакансиям и дислокациям в минералах. Малая величина термодинамического потенциала ионов золота обуславливает слабое взаимодействие его со средой при высоких  $T$  и  $P$  и малом потенциале кислорода, столь характерных для пород высоких ступеней метаморфизма. То есть длительный и стабильный процесс метаморфизма пород в условиях гранулитовой и эклогитовой фаций приводит к обеднению метаморфизируемых пород золотом и миграции его в область более низких  $T$  и  $P$ . Отложение вынесенного золота должно происходить в породах с низкой степенью метаморфизма, где скорость диффузии мала, а  $T$  и  $P$  невелики и преобладает почти застойный характер поровых растворов.

Важно подчеркнуть, что первичный региональный диффузионный поток в условиях регионально-геотермического метаморфизма месторождений дать не может, он приводит лишь к довольно равномерному обогащению золотом определенной части разреза метаморфических пород, чаще всего фации зеленых сланцев. Однако это обуславливает возможность последующей вторичной мобилизации золота при наложении на эту часть разреза локальных тепловых полей. В условиях регионально-плутонического метаморфизма, обусловленного поступлением теплового потока по зонам глубинного разлома и развитием в зеленосланцевой фации зон повышенного рассланцевания — аномальных тепловых полей — в поздние завершающие этапы метаморфизма (особенно в регрессивный этап), распределение золота в зоне зеленосланцевой фации не будет равномерным. Это может обусловить и, вероятно, обуславливает формирование месторождений без повторной мобилизации. Подобные случаи мы, видимо, и имеем в Ленском золотоносном районе, в Прибайкалье, а также, возможно, в Енисейском крае и во многих других подобных районах.

В условиях развития регионально-геотермического метаморфизма геохимические и теплофизические особенности процессов минералообразования существенно иные.

Рудопроявления или месторождения золота здесь могут возникнуть только в случае проявления повторной мобилизации золота при наложении на зеленосланцевую часть разреза аномальных тепловых полей. Такие тепловые поля возникают в связи с проявлением магматизма или развитием локальных наложенных тектонических структур (зон повышенного рассланцевания, разломов и пр.). В пределах таких тектонических зон может развиваться гидротермальная деятельность, приводящая к возникновению «обычных» гидротермальных месторождений. Рассмотрим это на примере Кокчетавской глыбы (Сев. Казахстан). В центральной части глыбы развиты метаморфические породы амфиболитовой и

<sup>1</sup> Классификация типов регионального метаморфизма принята по Хоревой (1967).

отчасти ретроградноизмененной гранулитовой и эпидот-амфиболитовой фаций метаморфизма, которые окаймляются породами фации зеленых сланцев. В них и других породах размещаются интрузии гранитоидов, но рудопроявления золота отмечаются только с теми из них, которые размещаются в породах фации зеленых сланцев (рис. 1).

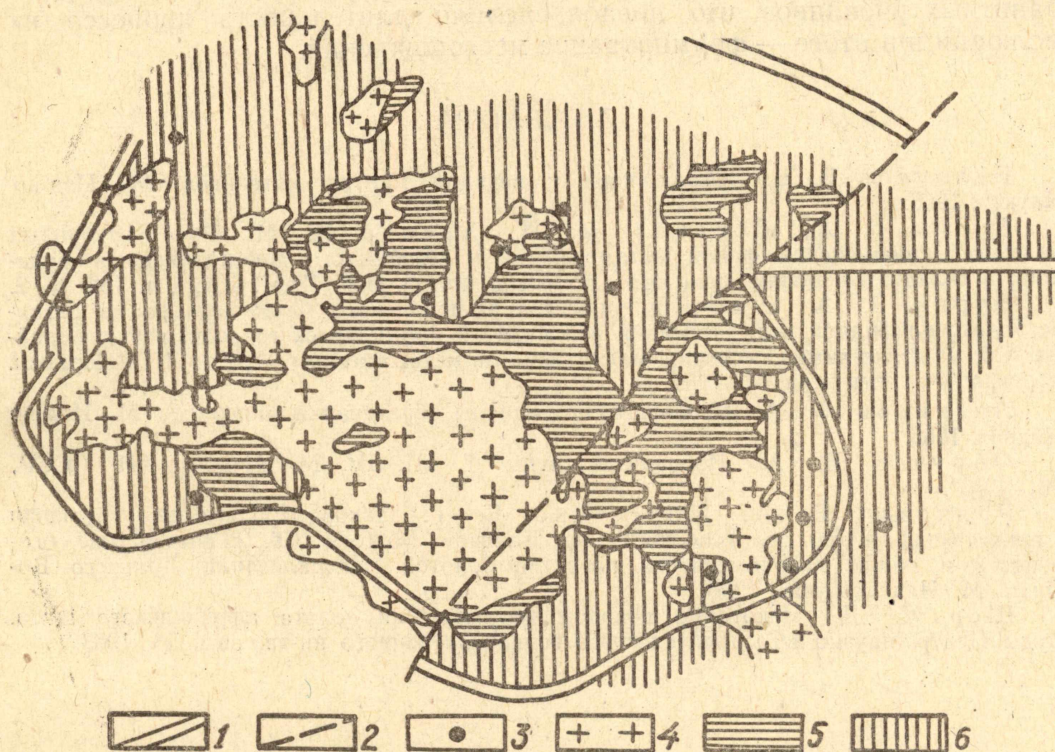


Рис. 1. Схема строения Кочетавской глыбы.

1—ограничения глыбы; 2—крупные разломы; 3—рудопроявления золота; 4—гранитоиды; 5—породы высоких степеней метаморфизма; 6—породы фации зеленых сланцев.

Метаморфизм архейских и протерозойских пород на глыбе, длившийся до девона, обусловил постоянный диффузивный поток элементов из этих толщ в вышележащие отложения фации зеленых сланцев, причем для золота процесс должен был проявиться наиболее полно. В том случае, если гранитный расплав взаимодействовал с породами низких степеней метаморфизма, существенно отличавшихся по составу от гранита, то он гибридизировался и обогащался халькофилами и золотом. Отсюда становится понятной связь в этом районе золотого оруденения с максимально гибридизированными гранитоидными расплавами и приуроченность месторождений золота к крайним членам гибридного ряда — диоритам и габбро-диоритам. Важно подчеркнуть, что для формирования концентрированного золотого оруденения необходимо, чтобы растворы не рассеивались, а концентрировались в сравнительно небольшом (локальном) объеме породы. Наиболее благоприятен случай — наличие небольшой интрузии (штока), являющейся сателлитом более крупного магматического очага. Одним из обязательных условий реализации гидротермальной системы в месторождение, в пределах такого штока-флюидопроводника (по терминологии Г. Л. Поспелова), является стабильность и длительность термодинамического режима, наиболее благоприятного для формирования месторож-

дения. То есть необходим длительный и стационарный приток гидротерм в зону концентрирования и реализации. В свете этого небезынтересно отметить факт преобладающего расположения главных золотоносных массивов Степняковского типа в зонах экзоконтактов крупных массивов гранитоидов. То есть штоки диоритов и габбро-диоритов с золотым оруденением формировались в зонах, прогретых огромными массами гранитных расплавов, что предопределило длительность процесса их эволюции и в итоге — формирование месторождений.

#### ЛИТЕРАТУРА

Белоусов В. В. Земная кора и верхняя мантия материков. М., Изд-во «Наука», 1966.

Буряк В. А., Лобанов М. П., Хренов П. М. Роль глубинных разломов в размещении фаций метаморфизма и эндогенного докембрийского оруденения в складчатом обрамлении юга Сибирской платформы. ДАН СССР, т. 168, № 2.

Буряк В. А. О влиянии процессов регионального метаморфизма на развитие золотосульфидной минерализации центральной части Ленского золотоносного района. Сб. «Физико-химич. условия магматизма и метасоматоза». Труды III Всесоюз. петрографич. совещания. М., 1964.

Летников Ф. А. Изобарные потенциалы образования минералов. М., Изд-во «Недра», 1965.

Обручев В. А. Избранные труды. Т. III, IV. М. Изд-во АН СССР, 1961—1963.

Радкевич Е. А., Моисеенко В. Г. Закономерности распределения и генетические черты золотоносности на Дальнем Востоке. Сб. «Генетические особенности и общие закономерности развития золотой минерализации Дальнего Востока». М., Изд. «Наука», 1966.

Шер С. Д. Некоторые вопросы металлогении золота африканского щита. Труды Центр. научно-исследовательского горноразведочного ин-та, вып. 56, 1963.