

## ПЕРСПЕКТИВЫ ЗОЛОТОРУДНОГО ОРУДЕНЕНИЯ МАРЦИГЕТСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ И НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО РУДООТЛОЖЕНИЯ ЗОЛОТА

© 2002 г. М. С. Акопян, Р. Л. Мелконян

Институт геологических наук НАН РА  
375019 Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24а, Республика Армения  
E-mail: ramelk@sci.am  
Поступила в редакцию 24.02 2002г.

В пределах Марцигетского рудного поля выделяются три формационных типа руд. Формирование первых двух из них – гематит-магнетитового ( $-770^{\circ}\text{C}$ ) и медно-гематитового ( $360-310^{\circ}\text{C}$ ) происходило из гидротермальной системы направленно движущихся растворов, а золото-свинцово-цинкового ( $-180^{\circ}\text{C}$ ) – из конвективно-циркуляционной гидротермальной системы. Показано, что для отложения самородного золота из рудоносных растворов необходимо восстановление иона золота, т.е. для формирования золоторудной минерализации наиболее благоприятными являются восстановительные условия. Такие условия имеются в конвективно-циркуляционной гидротермальной системе, в то время как в гидротермальной системе направленно движущихся растворов эти условия могут формироваться лишь при соответствующем влиянии геологической среды. В пределах Марцигетского рудного района наиболее благоприятными для золоторудного оруденения являются те участки, на которых имеются угленосные отложения (восстановитель) в сочетании с разрывными структурами и соответствующими магматическими образованиями.

Результаты изотопных ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$ ) исследований, проведенных нами в Марцигетском рудном поле, с учетом ранее полученных данных, послужили основой для разработки механизма формирования золоторудной минерализации в его пределах [3]. Анализ полученных материалов, наряду с особенностями геологического строения рудного поля, позволяет с новых позиций оценить перспективы золоторудного оруденения. Предложенный механизм рудоотложения основывается на результатах, проведенных нами за последние годы изотопных, в основном изотопно-кислородных, исследований конкретных месторождений и рудно-магматических систем (РМС), которые позволили получить новые сведения о петрогенетических особенностях отдельных интрузивных комплексов, механизме формирования рудоносности силикатного расплава, механизме формирования и эволюции гидротермальной системы, причинах и закономерностях отложения рудной минерализации, роли геологической среды в формировании гидротермального оруденения [1, 2, 4 и др.]. Информативность изотопных исследований для решения отмеченного круга вопросов обусловлена изменениями изотопного состава отдельных компонентов, участвующих в этих процессах. Вариации изотопного состава кислорода зависят, в основном, от двух причин – изменения температуры и взаимодействия рудоносных флюидов с кислородсодержащими веществами других источников. Фракционирование изотопов кислорода зависит от температуры, и эта зависимость откалибрована экспериментально. Решаема и вторая проблема, поскольку кислородсодержащие вещества различных источников, в зависимости от генезиса, характеризуются спецификой своих изотопных меток. Таким образом, по вариациям изотопного состава кислорода можно получить сведения о процессах, вызвавших эти вариации, т.е. о процессах становления исследуемого объекта, будь то интрузивный комплекс, гидротермальное месторождение или РМС.

### Механизм гидротермального рудоотложения и формирование золоторудного оруденения

Механизм рудообразования, разработанный нами на основании анализа результатов изотопных исследований в ряде положений принципиально отличается от общепринятых, и в этой связи представляется необходимым, хотя бы кратко, вновь остановиться на некоторых из них. Источником рудоносных флюидов являются конкретные магматические комплексы. Выход флюидной фазы из любой части магматического тела возможен только после полной кристаллизации расплава данного участка и формирования контракционных и тектонических трещин. Следовательно, если даже допустить изменение химического состава флюидной фазы в процессе кристаллизации расплава, то при выходе она всегда будет иметь один и тот же конечный химический состав. Иначе говоря, существенное изменение исходного состава рудоносных растворов невозможно. Более того, рудоносные флюиды, генерируемые различными породами единой генетической серии, имеют качественно аналогичные химические составы. Генерация рудоносных флюидов начинается непосредственно после внедрения расплава – по мере его раскристаллизации и прекращается с его окончанием. Флюиды из магматического тела выходят под давлением, в виде отдельных потоков и движутся во вмещающие породы, формируя гидротермальную систему направленно движущихся растворов. По мере удаления от источника, в результате понижения давления, направленное движение замедляется, а затем и приостанавливается и осуществляется переход в гидротермальную систему конвективно-циркуляционного типа. Прерывистость рудоотложения, наблюдаемая на месторож-

дениях, обусловлена не пульсацией растворов, а изменением каналов их передвижения, что, с одной стороны, обусловлено самим механизмом функционирования гидротермальной системы, а с другой – тектоническими подвижками.

В гидротермальной системе направленно движущихся растворов рудоотложение происходит под воздействием определенных рудоконтролирующих факторов. Смена состава парагенетических ассоциаций происходит в результате изменения окислительно-восстановительных условий. Начальная, наиболее высокотемпературная, ассоциация этой гидротермальной системы размещается ближе к источнику и имеет наименьшее распространение на месторождении. Последующие, более низкотемпературные, ассоциации имеют все более широкое развитие и все больше отдаляются от источника рудоносных растворов. Эта закономерность приводит к зональному расположению парагенетических ассоциаций относительно источника, причем зональность формируется по направлению движения растворов.

В конвективно циркуляционной гидротермальной системе влияние рудоконтролирующих факторов на процесс рудоотложения не наблюдается. На разных ветвях и на разных уровнях этой системы одновременно существуют различные физико-химические условия, предопределяющие возможность одновременной кристаллизации различных минералов. Однако, согласно закону действия масс, составы парагенетических ассоциаций характеризуются рудными минералами преобладающих металлов. В результате рудоотложения изменяются концентрации металлов в рудообразующих растворах и соответственно – составы парагенетических ассоциаций.

Температура рудоотложения контролируется температурой среды, а температура последней – температурой кристаллизующегося магматического тела. По мере отдаления от источника происходят понижение температуры и давления растворов, а также изменения в их химическом составе. Очевидно, что между изменениями вышеуказанных факторов существует корреляция, и поэтому, независимо от того изменениями какого из этих факторов обуславливается рудоотложение, должна наблюдаться корреляция между минеральным составом руд и температурой. Поэтому, отложение различных парагенетических ассоциаций в определенных температурных интервалах или понижение температуры от ранних ассоциаций к поздним не являются доказательством того, что рудоотложение обусловлено именно понижением температуры. Строгой зависимости между изменениями температуры, давления и химического состава растворов нет, поскольку изменение давления зависит также от степени трещиноватости пород, а химические изменения – от литологического состава среды и типа поверхностных вод, принимавших участие в процессах рудоотложения. Однако, строгой зависимости не наблюдается и между температурой и составом парагенетических ассоциаций: температурные диапазоны отложения последующих ассоциаций обычно перекрываются. Непосредственная связь рудоконтролирующего фактора с

температурой четко проявлена в пределах Марцигетского рудного поля и будет рассмотрена ниже. Зависимость состава слагаемых минералов от температуры наблюдалась на Техутском медно-молибденовом месторождении. Здесь отложение сульфидных минералов было обусловлено биогенным восстановлением серы сульфата морской воды. Эта реакция протекает при температурах 300°C и выше, поэтому при этих температурах отлагались сульфиды, а при более низких температурах – сульфаты (гипс, ангидрит).

Приведенные параметры характеризуют особенности конкретных месторождений, но существуют и стандартные ситуации проявления рудоконтролирующих факторов. Понижение давления направленно движущихся растворов способствует смешению с магматогенными растворами поверхностных вод. Смешение может и не привести к изменению минерализации растворов, но имеет важное рудоконтролирующее значение, поскольку с метеорной водой в гидротермальную систему поступает атмосферный кислород, что ведет к изменению окислительно-восстановительных условий и соответственно – минерального состава руд. Дальнейшее понижение давления приводит к прекращению направленного движения, и растворы, накопившиеся в конечном пункте, дают начало гидротермальной системе конвективно циркуляционного типа. Изменение типа гидротермальной системы обуславливает изменение состава отлагающихся парагенетических ассоциаций, поскольку в гидротермальных системах разного типа этот состав контролируется различными факторами. В результате рудоотложения в конвективно циркуляционной гидротермальной системе со временем изменяется химический состав растворов, однако со временем понижается и температура, и в итоге различные парагенетические ассоциации отлагаются при различных температурах.

Все парагенетические ассоциации направленно движущихся растворов и первая ассоциация конвективно циркуляционной гидротермальной системы отлагаются одновременно на разных расстояниях от источника. По мере раскристаллизации расплава область генерации растворов от приконтактной зоны перемещается в направлении к центру магматического тела и соответственно все участки отложения различных парагенетических ассоциаций перемещаются ближе к источнику, и в результате происходит наложение низкотемпературных ассоциаций на высокотемпературные. Следовательно, стадийность рудообразования это не определенный период в истории становления месторождения, а определенное физико-химическое состояние растворов, которое устанавливается в результате взаимодействия растворов со средой и которое на разных участках месторождения устанавливается в разное время. Поэтому низкотемпературные ассоциации на одном участке месторождения могут отлагаться гораздо раньше, чем высокотемпературные на другом. Реализация и полнота проявления вышеописанного механизма зависят от конкретных геологических условий становления месторождений.

В общем, возможны два варианта рудоотложения. В первом — это перенос рудного вещества растворами в виде тех химических соединений, которые фиксируются на месторождениях, а само рудоотложение происходит в результате уменьшения их растворимости, обусловленном понижением температуры. Во втором варианте рудообразующие элементы транспортируются в виде легкорастворимых соединений, а в результате химического воздействия среды формируются нерастворимые соединения, которые выпадают в виде рудных минералов. Как отмечал еще А. Г. Бетехтин [5], именно второй механизм является наиболее обоснованным и реальным. Каких-либо убедительных доказательств того, что в гидротермальном процессе рудообразующие элементы транспортировались растворами в форме тех химических соединений, которые наблюдаются на месторождениях, не имеется. Выше мы показали также, что корреляция между составами парагенетических ассоциаций и температурой не является доказательством того, что рудоотложение обусловлено понижением температуры. Иначе говоря, нет доказательств того, что рудоотложение обусловлено пересыщением растворов. Однако, если даже допустить возможность такого механизма рудоотложения, им нельзя объяснить формирование золоторудной минерализации, поскольку это противоречит логике самого механизма. Учитывая существующие представления о переносе золота растворами в виде сульфидных, тиосульфатных, хлоридных и др. соединений [8], при функционировании вышеотмеченного механизма рудоотложения следовало бы ожидать отложение не самородного золота, а одного из перечисленных химических соединений.

Золото кристаллизуется при  $1063^{\circ}\text{C}$  и очевидно, что при кристаллизации силикатного расплава оно окажется в твердой фазе. Во флюидную фазу золото может входить только в виде легкорастворимых химических соединений. Золото, как и другие металлы, в химических соединениях проявляет положительную валентность, и для отложения самородного золота необходимо восстановление его иона. Ион золота является сильным окислителем, и его участие в окислительно-восстановительных реакциях приведет к отложению самородного золота. В окислительных условиях, т.е. в условиях, когда кроме иона золота имеются и другие окислители, и в значительных количествах, роль иона золота как окислителя существенно уменьшается, соответственно уменьшается и возможность отложения самородного золота. В этой связи низкое содержание золота в рудах может быть обусловлено как низким содержанием золота в растворах, так и низким содержанием восстановителя. При исследовании золоторудных месторождений необходимо также учитывать существенные различия между высокотемпературными и низкотемпературными непродуктивными ассоциациями. Низкие концентрации золота в высокотемпературных непродуктивных ассоциациях, отлагавшихся из гидротермальной системы направленно движущихся растворов, обусловлены низким содержанием восстановителя, т.е. золото в растворах

имеется, однако отсутствуют благоприятные условия для его отложения. Эти ассоциации, при изменении геологической ситуации, особенно литологического состава рудовмещающих пород, могут стать продуктивными. В то же время низкие концентрации золота непродуктивных низкотемпературных ассоциаций, отлагающихся из конвективно циркуляционной гидротермальной системы, обусловлены уже низким содержанием золота в растворах, и изменение геологической ситуации в этом случае роли не играет.

Характерной особенностью золоторудных месторождений являются высокие концентрации во флюидных включениях  $\text{CO}_2$ , роль которого до сих пор не установлена [8,9 и др.]. С позиций вышеприведенных объяснений это обстоятельство находит свое обоснование: являясь окислителем  $\text{CO}_2$ , препятствует отложению золота и способствует его транспортировке растворами. Современные экспериментальные исследования [15] показывают, что возможность миграции золота в гидротермальных растворах резко возрастает при увеличении доли кремнезема и парциального давления кислорода. Анализ результатов исследований окислительно-восстановительных условий продуктивных и непродуктивных стадий минерализации золоторудных месторождений свидетельствует, что отношение  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  во включениях продуктивных стадий колеблется от 16 до 200, в то время как в непродуктивных стадиях оно доходит до 330 [7]. При этом наблюдается обратная корреляция между отношением  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  и концентрацией золота. Считается, что определяющим фактором в данном случае является содержание метана в газовой фазе. Корреляция между содержанием метана и золота отмечается и другими исследователями [11,12,14 и др.]. Изучением только флюидных включений этот вопрос не может быть решен однозначно, поскольку остается нерешенной проблема причинно-следственных отношений. Однако, эти данные, совместно с результатами изотопных исследований, позволяют получить однозначное решение вопроса. Таким образом, можно считать достаточно обоснованным представление, что для отложения золоторудной минерализации необходимы восстановительные условия. В конвективно циркуляционной гидротермальной системе такие условия имеются, и если растворы содержат золото, то его отложение неизбежно. В гидротермальной системе направленно движущихся растворов для отложения самородного золота требуется воздействие рудоконтролирующего фактора, являющегося восстановителем.

Сопоставление результатов исследований различных золоторудных месторождений, проведенных Н. В. Петровской [8], показало, что температуры начала процесса рудообразования на разных месторождениях отличаются друг от друга и не зависят от глубинности их формирования, но в то же время главные продуктивные ассоциации золотых руд на всех глубинах возникли в удивительно сходных температурных условиях —  $150-220^{\circ}\text{C}$ . Эта особенность золоторудных месторождений до сих пор не имеет удовлетво-

рительного объяснения. Однако причина станет очевидной, если провести температурную границу между двумя типами гидротермальных систем, это  $-250^{\circ}\text{C}$ . При температурах выше этой границы рудоотложение происходит из гидротермальной системы направленно движущихся растворов, и отложение самородного золота обусловлено рудоконтролирующим фактором, который в разных геологических условиях проявляется при разных температурах. При температурах ниже  $250^{\circ}\text{C}$  рудоотложение происходит из конвективно циркуляционной гидротермальной системы. В этом случае воздействие рудоконтролирующего фактора не требуется, условия для отложения самородного золота обеспечиваются гидротермальной системой, и поэтому на всех месторождениях эти условия аналогичны.

### О перспективах золоторудного оруденения Марцигетского рудного поля

Переходя к обсуждению перспектив золоторудного оруденения Марцигетского рудного поля, необходимо отметить некоторые его особенности. Прежде всего это наличие в его пределах нескольких золотоносных формационных типов руд, составляющих единый генетический ряд, связанный с верхнеэоцен-олигоценным интрузивно-субвулканическим магматизмом: контактово-метасоматический гематит-магнетитовый (высокотемпературный), медно-гематитовый (среднетемпературный) и золото-свинцово-цинковый (средне-низкотемпературный) (Карапетян, Пароникян, 1983). Отмеченные типы руд, представители которых были отобраны на уч. Дзагидзор (высоко- и среднетемпературный) и уч. Будагидзор (низкотемпературный), характеризуются нижеприведенными значениями температур и  $\delta^{18}\text{O}$  воды рудообразующих флюидов (относительно стандарта SMOW): высокотемпературный —  $T=770^{\circ}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}=10.5\text{‰}$ , среднетемпературный —  $T=360^{\circ}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}=5.1\text{‰}$  и  $T=310^{\circ}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}=4.6\text{‰}$ , низкотемпературный —  $T=180^{\circ}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}=6.8\text{‰}$  [3]. Как нами ранее было показано, высокое значение  $\delta^{18}\text{O}$  воды рудообразующих растворов и отложение гематит-магнетитовой минерализации были обусловлены взаимодействием рудоносных флюидов ( $\delta^{18}\text{O}=5.5\div 6.0\text{‰}$ ) с  $\text{CO}_2$  — продуктом термического разложения морских известняков под воздействием внедрившейся расплава роговообманковых габбро [3]. В данном случае можно говорить о температурном контроле рудоотложения или точнее о проявлении рудоконтролирующего фактора в связи с температурой. Термическое разложение  $\text{CaCO}_3$  происходит при температурах выше  $550^{\circ}\text{C}$ , а влияние  $\text{CO}_2$  на процесс рудоотложения наблюдается как по  $\delta^{18}\text{O}$  воды рудообразующих флюидов, так и по минеральному составу руд. Очевидно, что окислительные условия, в которых происходило отложение гематит-магнетитовой минерализации, явились неблагоприятными для отложения самородного золота. Этим и объясняются низкие содержания золота в них, несмотря на то, что концентрация золота была наиболее высокой именно в растворах этой, начальной стадии минера-

лизации. Кроме того, эта ассоциация, как наиболее высокотемпературная, имеет и наименьшее развитие в рудном поле. На среднетемпературной стадии минерализации ( $360\div 310^{\circ}\text{C}$ ) термическое разложение известняков уже невозможно, и поскольку рудоотложение происходило из гидротермальной системы направленно движущихся растворов, то последние могли взаимодействовать только с рудовмещающими вулканитами. Поэтому  $\delta^{18}\text{O}$  воды рудообразующих растворов характеризуются обычными для магматогенных растворов значениями ( $4.6\div 5.1\text{‰}$ ) при соответствующих температурах. Смена гематит-магнетитовой ассоциации на медную обусловлена прекращением воздействия  $\text{CO}_2$  на растворы, что означало понижение окислительного потенциала и сопровождалось повышением содержаний золота в рудах. Этот тип руд при геологоразведочных работах рассматривался как возможный объект добычи золота.

Смена медной минерализации на полиметаллическую обусловлена изменением типа гидротермальной системы. Низкотемпературная золото-свинцово-цинковая минерализация формировалась в гидротермальной системе конвективно циркуляционного типа. И хотя концентрация золота в растворах этой стадии минерализации по сравнению с предыдущими была более низкой, именно в них фиксируются наиболее высокие концентрации золота, поскольку в этой гидротермальной системе имелись благоприятные условия для его отложения. Уменьшение содержания золота в растворах обусловлено отложением золота на предыдущих стадиях и разбавлением магматогенных растворов поверхностными водами приблизительно в соотношении 1:1. Смешение с магматогенными растворами поверхностных вод обычно приводит к облегчению изотопного состава кислорода воды рудообразующих растворов. К облегчению последнего приводит и понижение температуры, что также имело место. Однако, как видно из вышеприведенных данных, вместо облегчения наблюдается утяжеление значения  $\delta^{18}\text{O}$  воды растворов, обусловленное взаимодействием растворов с известняками. В отличие от направленно движущихся растворов, растворы конвективно циркуляционной системы взаимодействуют не только с рудовмещающими породами, но и с разнообразными породами стратиграфического разреза. Взаимодействие растворов с известняками наблюдается и по изотопному составу углерода исследованных кальцитов [3]. Изотопный эффект взаимодействия растворов с известняками по кислороду настолько значителен, что невозможно определить источник поверхностных вод. Однако, исходя из трансгрессивного залегания нижнего эоцена на юрских образованиях и особенностей изотопных данных, наиболее вероятным является участие в процессах рудообразования морской воды. Таким образом, на Марцигетском рудном поле проявляются те же общие закономерности, которые были изложены выше. Это — возможность отложения самородного золота в конвективно циркуляционной гидротермальной системе и необходимость воздействия восстановителя на на-

правленно движущиеся растворы. Можно считать, что в рудообразующих растворах всегда присутствуют как окислители, так и восстановители, однако в окислительных условиях отложение самородного золота ограничивается высокими содержаниями окислителя. В этом аспекте наличие золота в гематит-магнетитовых и медно-гематитовых рудах скорее всего следует рассматривать не как рудоотложение, а как рассеивание золота по пути следования растворов. Это негативный процесс, поскольку промышленные концентрации не формируются, а содержание золота в растворах понижается. В итоге это приводит к понижению содержания золота в свинцово-цинковых рудах. Очевидно, что наиболее благоприятными для формирования золоторудной минерализации являются условия, когда в роли восстановителя выступает геологическая среда. В пределах Марцигетского рудного поля такой геологической средой является угленосная толща в осадочных образованиях нижнего эоцена, представленная песчаниками с прослоями угля и углистыми сланцами. Важная роль углистого вещества в отложении самородного золота отмечается на многих месторождениях, однако, в отличие от наших представлений, оно рассматривается в качестве сорбента. Важная роль углистого вещества в формировании золоторудной минерализации отмечалась и Н. В. Петровской [8], которая считала целесообразным опробование углей на содержание золота, особенно в пределах золоторудных провинций. В этой связи отметим, что согласно устному сообщению П. Г. Алояна, проведенное им опробование вышеупомянутой угленосной толщи нижнего эоцена, как и ряда других проявлений угля на территории РА, позволило установить в них высокие содержания золота. В связи с последним обстоятельством — высокими содержаниями золота в угленосной толще и за пределами Марцигетского рудного поля может создаться впечатление, что золото генетически связано с угленосной толщей. Как известно, органический углерод в процессе осадконакопления концентрирует значительные количества золота, которое в диагенетических, катагенетических и метаморфических процессах перераспределяется и может формировать промышленные концентрации. Сказанное относится к черным сланцам, но и они не всегда являются золотоносными. Исследование современных осадков показывает, что черные сланцы могут быть золотоносными в тех случаях, когда в осадочный бассейн материал поступает из золотоносных областей [6]. Что же касается углей, то кларковые содержания золота в них по величине приблизительно соответствует таковому в терригенных и карбонатных породах [10], и нет оснований угленосную толщу считать источником золота. Кроме того, по геологическим и изотопным данным кислорода, золоторудная минерализация района связана с магматизмом, а изотопные составы углерода кальцитов позволяют уверенно исключить взаимодействие рудообразующих растворов исследованных участков с угленосной толщей и, следовательно, заимствование золота из него. Таким образом, золото

Марцигетского рудного поля имеет магматический источник, а обнаруженные высокие содержания золота в угленосной толще можно объяснить барьерной функцией углистого вещества\*. В этой связи отметим также, что согласно экспериментальным работам на бурых углях  $Au^{3+}$  легко восстанавливается до  $Au^0$  [13].

С точки зрения поисковых работ, наиболее благоприятной предпосылкой обнаружения золоторудной минерализации является сочетание трех факторов — наличие соответствующих магматических образований, угленосной толщи и соответствующих структур — прежде всего зон разломов. Роль первых двух очевидна, это источник растворов и рудоконтролирующий фактор. Роль разломных зон многообразна. С ними обычно ассоциируют магматические тела и они легко проницаемы для растворов. Здесь резко возрастает поверхность взаимодействия растворов с породами, а скорость химических реакций между растворами и твердой фазой находится в прямой зависимости от этого фактора. Как нами ранее уже подчеркивалось [2], весьма важной является также роль разломов в создании условий для концентрированного рудоотложения, поскольку сочетание зоны разлома с кристаллизующимся магматическим телом приводит к его одностороннему интенсивному охлаждению и преимущественно одностороннему — в сторону разлома, выходу флюидной фазы. Сочетание вышеуказанных факторов создает необходимые условия для формирования золоторудных месторождений типа известных месторождений, ассоциирующихся с черносланцевыми толщами.

Важным аспектом оценки перспектив Марцигетского рудного поля является определение возможных масштабов золоторудной минерализации. Очевидно, что при прочих равных условиях они зависят от масштабов источника рудоносных растворов. Разобщенность участков рудопроявлений и их линейное размещение по простиранию Марцигетского разлома объясняются таким же расположением источника или источников рудоносных растворов. Наличие на разных участках рудного поля высокотемпературных, т.е. отлагавшихся из гидротермальной системы направленно движущихся растворов минеральных ассоциаций аналогичных составов (например, гематит-магнетитовой минерализации на Дзагидзорском участке и в юго-восточной части рудного поля или же медно-гематитовой минерализации на Дзагидзорском участке и на участке Мгарт), однозначно свидетельствует об автономности источников рудоносных растворов. Это обстоятельство может иметь два объяснения — либо источниками растворов являются самостоятельные магматические тела, либо это отдельные выступы

\* А. Г. Бетехтиным отмечалось выпадение самородного золота в результате восстановления ионов золота до атомарного состояния при взаимодействии гидротермальных растворов с углеводородами битуминозных пропластков на месторождении Балларт (Южная Австралия) [5, с 146].

крупного магматического тела. За исключением Дзагидзорского участка, где обнажается небольшой интрузив, на остальных участках рудного поля рудная минерализация ассоциируется с дайками и субвулканическими телами, которые трудно рассматривать в качестве основного источника рудоносных растворов. С другой стороны, в связи с широким развитием в районе вулканических, субвулканических и даечных образований нельзя исключить возможное наличие крупных интрузивных тел, не имеющих выхода на дневную поверхность, которые и явились источниками рудоносных растворов. В настоящее время нет соответствующих геологических данных для однозначного решения этого вопроса. Однако в любом случае не исключается наличие в рудном поле участков золоторудного оруденения не имеющих выхода на дневную поверхность, поскольку глубина формирования рудной минерализации в определенной степени зависит от глубины становления магматического комплекса.

### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Акопян М.С., Мелконян Р.Л. Соотношение между стадийностью рудообразования и парагенетическими ассоциациями минералов медно-молибденовых месторождений (по результатам изотопно-кислородных исследований месторождений Армении). Изв. НАН РА, Науки о Земле, 1997, N3, с.3-11.
- 2 Акопян М.С., Мелконян Р.Л. Роль геологической среды в формировании эндогенных гидротермальных месторождений (по результатам изотопных исследований некоторых месторождений Армении) Изв. НАН РА, Науки о Земле, 1998, N3, с.27-38.
- 3 Акопян М.С., Мелконян Р.Л., Галоян К.Л. Механизм формирования золоторудной минерализации Марцигетского рудного поля. Изв. НАН РА, Науки о Земле, 2001, N2, с.12-17.
- 4 Асланян А.Т., Акопян М.С., Мелконян Р.Л., Пароникян В.О. Кохб-Шнохская палеоостроводужная рудно-магматическая система и модель ее формирования. Геохимия, 1990, N1, с.91-105.
- 5 Бетехтин А.Г. Гидротермальные растворы, их природа и процессы рудообразования. В кн.: Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях. М.: изд. АН СССР, 1953, с.122-272.
- 6 Ермолаев Н.П., Созинов Н.А., Котина Р.П., Папкова Е.А., Горячкин Н.И. Механизм концентрирования благородных металлов в терригенно-углеродистых отложениях. М.: Научный мир, 1999, 124с.
- 7 Константинов М.М., Варгунина Н.П., Косовец Т.Н., Стружков С.Ф., Сынгаевский Е.Д., Шишкова Л.Н. Золото-серебряные месторождения. Сер. Модели месторождений благородных и цветных металлов. М.: ЦНИГРИ, 2000, 239с.
- 8 Петровская Н.В. Самородное золото. М.: Наука, 1973, 344с.
- 9 Томиленко А.А., Гибшер Н.А. Особенности состава флюида в рудных и безрудных зонах Советского кварц-золоторудного месторождения Енисейского края (по данным изучения флюидных включений). Геохимия, 2001, N2, с.167-177.
- 10 Юдович Я.Э., Кэтрис М.П. Элементы-примеси в черных сланцах. Екатеринбург: УИФ "Наука", 1994, 303с.
- 11 Bucholz P., Spaeth G., Friedrich G. Gold-antimony mineralization in Zimbabwe // Fluid inclusion research / Ed Roedder E., Virginia, 1991, v.24, p.28.
- 12 Channer D.M.Der, Spooner E.T.C. Fluid inclusion in ductilely deformed quartz. Hollinger-McIntyre Au deposit, Timmins, N Ontario // Fluid inclusion research / Ed Roedder E., Virginia, 1991, v.24, p.34.
- 13 Gatelliez J.P., Disnar J.R. Role and importance of organic matter in the concentration of gold // JGCP Project 254 Newsletters, 1989 / N1, p.21.
- 14 Naden J., Shepherd T.J. Role of methane and carbon dioxide in gold deposition // Letters to Nature / 1989, v.342 p.793-795.
- 15 Wang Shenguan and Fan Wenling. Gold Solubility in the  $\text{SiO}_2\text{-HCl-H}_2\text{O}$  system at  $200^\circ\text{C}$ : a preliminary assessment of the implications of silification with regard to gold mineralization // Kuangwu Xueolao-Acta mineral / 1994, v.14, N1, p.46-55.

ՄԱՐՑԻՂԵՏԻ ՀԱՆՔԱՅԻՆ ԴԱՇՏԻ ՈՍԿՈՒ ՀԱՆՔԱՅՆԱՑՄԱՆ  
ՀԵՌՆԿԱՐՆԵՐԸ ԵՎ ՈՍԿՈՒ ՀԻԴՐՈԹԵՐՄԱԼ ՀԱՆՔԱՅՆԱՑՄԱՆ  
ՈՐՈՇ ՀԱՐՑԵՐ

Մ. Ս. Հակոբյան, Ռ. Լ. Մելքոնյան

Ա մ փ ո փ ու մ

Մարցիղետի հանքային դաշտում առանձնացվում են հանքանյութերի երեք ֆորմացիոն տիպեր: Առաջին երկուսը՝ հեմատիտ-մագնետիտայինը ( $770^{\circ}\text{C}$ ) և պղինձ-հեմատիտայինը ( $310\text{-}360^{\circ}\text{C}$ ) ձևավորվել են ուղղորդված շարժվող լուծույթների հիդրոթերմալ համակարգում, իսկ ոսկի-կապար-ցինկայինը՝ կոնվեկտիվ շրջապտույտային հիդրոթերմալ համակարգում: Ցույց է տրված, որ հանքաբեր լուծույթներից բնածին ոսկու նստեցման համար անհրաժեշտ է ոսկու իոնի վերականգնումը այլ կերպ ասած ոսկու հանքայնացման համար բարենպաստ են վերականգնողական պայմանները: Այդպիսի պայմաններ գոյություն ունեն կոնվեկտիվ-շրջապտույտային հիդրոթերմալ համակարգում, մինչդեռ ուղղորդված շարժվող լուծույթների համակարգում այդպիսի պայմաններ կարող են ստեղծվել միայն միջավայրի համապատասխան ազդեցության դեպքում:

Օքսիդա-վերականգնման ռեակցիաներում ոսկու իոնը հանդես է գալիս որպես օքսիդիչ, սակայն այլ օքսիդիչների գերակայության դեպքում, օրինակ  $\text{CO}_2$ , ոսկու իոնի դերը որպես այդպիսին խիստ նվազում է, խիստ նվազում է նաև բնածին ոսկու նստեցման հավանականությունը: Դրանով են պայմանավորված ոսկու ցածր պարունակությունները հեմատիտ-մագնետիտային և պղինձ-հեմատիտային հանքանյութերում: Մարցիղետի հանքային դաշտում ոսկու հանքայնացման համար առավել նպաստավոր են այն տեղամասերը, որտեղ հնարավոր է ստորին էոցենի ածխային շերտերի (վերականգնիչ) մասնակցությունը հանքառաջացման գործընթացներին, համապատասխան խզվածքների և մագմատիկ առաջացումների առկայության պայմաններում:

PROSPECTS OF GOLDEN ORE MINERALIZATION IN THE MARTSIGHET  
ORE FIELD AND SOME ASPECTS OF HYDROTHERMAL  
DEPOSITION OF GOLDEN ORE

M. S. Hakobyan, R. L. Melkonyan

Abstract

Three formation-related types of ores are identified within the Martsighet ore field. Ores of the first two types – hematite-magnetite ( $\sim 770^{\circ}\text{C}$ ) and copper-hematite ( $360\text{-}310^{\circ}\text{C}$ ) started to form in a hydrothermal system of solutions in ordered motion, while the third type of gold-lead-zinc formation started from a convecting and circulatory hydrothermal system. The work demonstrates that reduction of gold ions is necessary for deposition of native gold from ore-bearing solutions, i.e., reduction conditions are most favorable for golden ore mineralization. Present in convecting-circulatory hydrothermal systems, such conditions will form in a hydrothermal system of orderly moving solutions only under a specific impact of the geologic medium. Although ions of gold act as oxidants in redox reactions, presence of considerable amounts of other oxidants (e.g.,  $\text{CO}_2$ ) in addition to gold reduce the role of gold ions as oxidants, which leads to a corresponding decrease of the native gold deposition potential. This factor determines low contents of gold in the hematite-magnetite and copper-hematite types of ores. Sites most favorable for golden ore mineralization within the Martsighet ore region are those, where presence of coal-bearing deposits (reducing agent) combine with rupture structures and corresponding magmatic formations.