

КРАТКИЕ
СООБЩЕНИЯ

УДК: 553.41+553.21/.24

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МЕТАСОМАТИТОВ И ОРУДЕНЕНИЯ
ЭПИТЕРМАЛЬНЫХ ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

© 2020 г. И. Н. Кигаи*

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,
Старомонетный пер., 35, Москва, 119017 Россия

*e-mail: kigai@igem.ru

Поступила в редакцию 13.09.2018 г.

После доработки 17.04.2020 г.

Принята к публикации 21.04.2020 г.

Метасоматиты эпитеpмальных Au–Ag месторождений формируются различными растворами – от сильно кислых и окисленных (аргиллизиты, алуниты, вторичные кварциты) и умеренно кислых (серицитизация) до относительно восстановленных и щелочных (адуляp). К возможным процессам образования флюидов высокой кислотности в условиях малых глубин можно отнести следующие: а) конденсация кислой газовой фазы гетерофазных флюидов (включая конденсацию газообразных HCl, HF и H₂SO₄, водные растворы которых обладают свойствами высоко кипящих азеотропных смесей); б) окисление богатыми кислородом метеорными водами магматогенных газов, содержащих SO₂ и H₂S; а также в) возможное диспропорционирование серы из SO₂ в H₂S и H₂SO₄. Эпитеpмальные Au–Ag месторождения кислотно-сульфатного (*high sulfidation*) типа формируются в верхних частях гетерофазных флюидных систем. Основная Au–Ag и сульфидная минерализация (за исключением небольших количеств более ранних пирита, энаргита и люционита) отлагается в них не синхронно с кислотными метасоматитами, а существенно позже, после поднятия в сферу рудоотложения жидких и менее кислых флюидов. Над зонами пологой субдукции океанской коры под такими месторождениями нередко обнаруживаются медно-порфиpовые месторождения. Но они не могут рассматриваться в качестве корней золото-серебряных систем, поскольку формируются иногда намного раньше, а иногда значительно позже, притом в замкнутых системах, имея собственные корневую часть рудообразующей системы (зона калишпатизации с сопряженным Mo-оруденением) и верхнюю часть (зона серицитизации с сопряженным Cu-оруденением). Притом над зонами крутой субдукции, характерной для значительной части Востока Азии (Хабаровский край, Приморье, Япония), эпитеpмальные Au–Ag месторождения не обнаруживают пространственной и возрастной связи с медно-порфиpовыми месторождениями, ввиду отсутствия последних. В нижних, корневых частях эпитеpмальных гетерофазных флюидных систем формируются щелочные метасоматиты, и именно с ними связано основное бонанцевое золото-серебряное с сульфидами оруденение адуляpового (*low sulfidation*) типа на Дальнем Востоке России, на западе Америки и в Японии. Широко распространившийся термин *high sulfidation* создан искусственным слиянием понятий “высокая сульфатность” и “высокая окисленность” и допускает неоднозначное толкование, поскольку в действительности не подразумевает процессов сульфидизации. Соответствующий тип минерализации лучше называть кислотно-сульфатным (*acid sulfate*).

Ключевые слова: эпитеpмальная золото-серебряная минерализация, медно-порфиpовое оруденение, верхи и корни рудообразующих систем, кислотно-сульфатный (*high sulfidation*) и адуляpовый (*low sulfidation*) типы эпитеpмальной минерализации, пологая и крутая субдукция, азеотропные растворы

DOI: 10.31857/S0016777020050032

ВВЕДЕНИЕ

Эпитеpмальные месторождения золота и серебра играют значительную, хотя и не главную, роль в мировом балансе руд этих металлов. Детальному изучению этих месторождений посвящены работы Р. Силлитое (Sillitoe, 1973; Sillitoe, Hedenquist, 2003), Н. Петровской и др. (1976), Дж. Хеденквиста (Hedenquist, 1987, 2011; Heden-

quist et al., 1994, 1998), П. Хелд (Heald et al., 1987), Р. Хенли (Henley, 1991), А. Аррибаса-мл. (Arribas, 1995), В. Гиггенбаха (Giggenbach, 1997), В. Коваленкера и др. (1997), О. Плотинской и др. (2000), М. Константинова и др. (2002), А. Сидорова, А. Волкова (2002), А. Волкова и др. (2003а, б), К. Хайнриха и др. (Heinrich et al., 2004, Heinrich, 2005), М. Эйнауи (Einaudi et al., 2003), В. Проко-

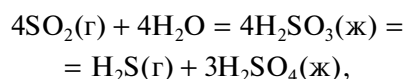
фьева (2000), В. Округина и др. (2014) и многих других исследователей.

Посвященная эпиптермальным золото-серебряным месторождениям и их связи с медно-порфировыми месторождениями литература весьма обильна. Все же в ней до сих пор неправильно отражалась важная проблема “верхушек и корней” (“tops and bottoms”) эпиптермальных золото-серебряных и медно-порфировых рудно-магматических систем. Кроме того, для эпиптермальных золото-серебряных систем широко используется весьма неоднозначная и спорная терминология, которая нуждается в дополнительных комментариях. Именно эти два вопроса являются главными предметами обсуждения в данной статье. Помимо этого для обоих рассматриваемых типов минерализации детализируются вопросы различия в геодинамической обстановке и в связи с магматизмом.

ГЛАВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЭПИТЕРМАЛЬНЫХ ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Для этих месторождений характерно сочетание рудной минерализации с предрудными метасоматитами широкого диапазона по кислотности (рН) и окисленности (fO₂). В приповерхностных условиях, когда в процессе развития глубинных трещинных систем рудоконтролирующие разломы достигают земной поверхности, гетерогенизация флюидов в открытой системе при низком давлении приводит в верхнем ее этаже к формированию газовой фазы, обогащенной кислотными компонентами (КигаЙ, 1979; КигаЙ, Тагиров, 2010). Их конденсация и поглощение содержащих SO₂ и H₂S магматогенных газов богатыми кислородом экзогенными (метеорными) растворами служат, по-видимому, главными механизмами создания флюидов высокой кислотности. Но, кроме того, в условиях низких давлений растворы таких кислот, как HCl, HF, H₂SO₄, приобретают свойства максимально кипящих азеотропных смесей, и конденсация газов, содержащих указанные компоненты в умеренных концентрациях, свойственных природным системам, приводит к созданию растворов более высокой кислотности, чем у самих газов.

Надо также учесть мнение М. Эйнауи и Дж. Хеденквиста (Einaudi, Hedenquist, 2003), что повышенная кислотность флюидов рассматриваемых месторождений связана с диспропорционированием SO₂ с образованием H₂SO₄ и H₂S, по реакции:



которая рассматривается этими авторами в качестве доминирующего процесса при охлаждении флюидов до температур ниже 350–300°C.

Возникающие вследствие указанных процессов кислые растворы при взаимодействии с вмещающими породами создают метасоматиты особо высокой кислотности – аргиллизиты, алуниты и вторичные кварциты с пиррофиллитом. Породы с повышенным содержанием кремнезема (игнибриты, риолиты, песчаники) при таком интенсивном кислотном выщелачивании превращаются в кавернозные почти чисто кварцевые породы (*vuggy quartz*), весьма высокая пористость которых является результатом выноса из породы всех щелочных силикатов.

Такую обстановку и связанную с ней минерализацию, по предложению Дж. Хеденквиста (Hedenquist, 1987), принято обозначать термином “*high sulfidation*”. Во многих случаях в такой обстановке образуется золото-серебряное и сульфидное оруденение, генетически связанное с основными и средними вулканитами, которое накладывается на кислотные метасоматиты. Но это наложение происходит с некоторым запозданием, после поднятия зеркала термальных вод гетерофазных флюидов до уровня формирования аргиллизитов и алунитов благодаря подтоку в систему метеорных вод (Hedenquist et al., 1994), так что главное оруденение этих месторождений формируется уже не сильно кислыми (с низким рН) и окисленными (с высоким fO₂) конденсатами кислых газов, а менее кислыми или близнеутральными и менее окисленными изначально жидкими растворами.

Более поздний по отношению к кислотным метасоматитам возраст большинства сульфидов и золота хорошо виден на диаграмме последовательности минералообразования на эпиптермальном месторождении Лепанто (Филиппины), составленной самим Хеденквистом (Hedenquist, 2011). Так, по его данным, на этом месторождении совместно с кислотными минералами (каолинитом, диккитом, алунитом и пиррофиллитом) из минералов руд отлагалась только часть пирита, гематита, энаргита, люционита и кварца. Остальные минералы рудопродуктивной стадии отлагались позже в такой последовательности: блеклые руды, халькопирит, сфалерит с галенитом и марказитом, ковеллит с колуситом, гуанахуатит с калаверитом и петцитом и, наконец, золото и электрум. Завершили процесс низкотемпературные сульфаты барит и ангидрит. В более ранней статье (Hedenquist et al., 1998) первая и вторая ассоциации минералов были отнесены вообще к двум различным стадиям гидротермального процесса.

Нижние части эпиптермальных гетерофазных систем соответствуют обстановке типа *low sulfidation*. В ней могут формироваться щелочные адуля-

ровые метасоматиты и адуляр-кварцевые жилы с золото-серебряной минерализацией или также щелочные хлоритовые метасоматиты с полиметаллическим оруденением (Аверьев, 1961; Кига́й, 1979; Кига́й, Тагиров, 2010; Heald et al., 1987). Правда, Дж. Хеденквист с А. Аррибасом-мл. (Hedenquist, Arribas-jr, 1999) и Р. Силитоу (Sillitoe, 1973), активно изучавшие эпитермальные системы типа *high* и *low sulfidation*, полагают, что нижняя, корневая часть (*bottom part*) таких систем представлена медно-порфировой минерализацией.

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ И ВОЗРАСТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ЭПИТЕРМАЛЬНЫХ И МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Действительно, эти два типа минерализации часто связаны между собой не только пространственно (что наблюдалось в Америке, на Филиппинах, в Узбекистане в районе Алмалыка), но и во времени. Так, на месторождении Лепанто на Филиппинах, по данным Дж. Хеденквиста (Hedenquist, 2011), близко под эпитермальным золотым оруденением типа *high sulfidation* вскрыт порфиновый шток с медно-порфиновым оруденением, причем оба типа минерализации имеют в пределах точности аналитического метода один и тот же возраст 1.4 млн лет.

Но в генетическом отношении медно-порфировая минерализация, скорее всего, является более ранней относительно кислотно-сульфатных систем, поскольку серицитизация, обычно предваряющая халькопиритовое оруденение медно-порфирических месторождений, является типичным процессом кислотного выщелачивания, обычно происходящего в верхних частях **закрытых** флюидно-магматических систем, в которых трещины еще не успели дойти до земной поверхности, а флюиды не пришли во взаимодействие с богатыми кислородом метеорными водами (Кига́й, 1979; Кига́й, Тагиров, 2010).

Закрытость медно-порфирических систем дополнительно подчеркивается отчетливо выраженной в них вертикальной зональностью метасоматитов и оруденения. В пределах рудоносных кварц-монцититовых штоков и далее в надинтрузивных породах зональность метасоматитов выражена тем, что снизу вверх и от центра к периферии самая ранняя калишпат-биотитовая зона (*potassic*) сменяется кварц-серицит-пиритовой (*fillic*), далее кварц-каолинит-монтмориллонитовой (*argillic*) и затем пропилитовой (эпидот-хлорит-кальцитовой) зонами. На этом фоне и в той же последовательности рудная минерализация от халькопирит-молибденит-пиритовой сменяется галенит-сфалеритовой с небольшими количествами золота и серебра в виде примесей в других минералах и в виде сульфосолей (Lowell, Guilbert, 1970). По данным Р. Роуза

(Rose, 1970), с калишпат-биотитовыми метасоматитами пространственно и во времени сопряжена молибденовая минерализация, а несколько более поздняя медная сопряжена с серицитизацией и расположена выше или дальше от центра штока. Вообще связь молибденового оруденения с калишпатовыми метасоматитами, а медного — с серицитовыми, вполне типична и прослеживается в месторождениях самых разных типов (в частности, в касситерито-сульфидных) во многих рудных районах мира (Кига́й, 1974, 2012).

Формирование же минерализации типа *high sulfidation* по соседству с медно-порфирическими месторождениями могло происходить значительно позже последних, в процессе последующего прогрессивного развития трещинных структур и достижения ими земной поверхности, и иметь при этом самостоятельный магматический источник. Такая последовательность образования медно-порфирической и эпитермальной минерализации установлена, например, Изабеллой Шамбефор с соавторами (Chambefort et al., 2007) в Болгарии, где эпитермальная минерализация месторождения Челопеч типа *high sulfidation*, согласно надежным данным изотопного датирования, моложе расположенной в том же районе медно-порфирической минерализации месторождения Елаците на 650–390 тыс. лет и связана с иным, малоглубинным магматическим источником.

Но в Румынии в горах Апусени на расстоянии 3 км друг от друга расположены крупные Au–Ag эпитермальное месторождение Рошиа Монтанэ и Cu–Au-порфирическое Рошиа Потени с обратными возрастными соотношениями, поскольку первое имеет возраст 12.85 ± 0.07 Ma, а второе моложе на 3 млн лет (Wallier et al., 2006). Первое залегает в штоке дацитов, а второе — в более молодом интрузиве диорит-порфирических, относящемся, вероятно, к самостоятельной новой серии магматитов с независимой флюидной системой. Из этого следует, что не только относительное расположение по вертикали, но и относительные возрасты рассматриваемых типов минерализации могут быть совершенно разными.

Различны у них также верхушки (*tops*) и корни (*bottoms*), и у каждой — свои. У медно-молибден-порфирических месторождений “корнями” служат калишпатовые метасоматиты с молибденитом, располагающиеся в порфирических штоках обычно ниже “верхушечной” серицитизации и связанного с ней медного оруденения. По В.В. Аверьеву (1961), для глубоких горизонтов гетерофазных эпитермальных систем, располагающихся ниже зеркала термальных вод, характерна адуляризация, т.е. именно зона адуляризации, с которой связаны самые крупные бонанцевые скопления золота и серебра в ассоциации с сульфидами и сульфосолями, может рассматриваться в качестве корня эпите-

мальных золоторудных систем. Правда, иногда такая “корневая” минерализация адулярового типа может, вследствие поднятия зеркала термальных вод, прямо накладываться на ранее сформированные кислотно-сульфатные метасоматиты верхнего уровня, как это произошло, например, на известном золоторудном месторождении Купол на Чукотке.

РАЗЛИЧИЯ ЭПИТЕРМАЛЬНЫХ ЗОЛОТОНОСНЫХ И МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ РУДНЫХ СИСТЕМ ПО СВЯЗИ С ГЕОДИНАМИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ И ТИПАМИ МАГМАТИЗМА

Следует заметить, что для медно-порфировых месторождений характерно образование над зонами пологой субдукции, типичными для запада Северной и Южной Америк (Sillitoe, 1972; Lehmann, 2004; Kigai, 2006; Кига́й, 2013), где и наблюдается пространственная близость медно-порфировых и золотых эпитеpmальных месторождений. Но в большей части восточноазиатского сегмента Тихоокеанского металлогенического пояса субдукция тихоокеанской плиты под азиатский континент была крутой, и медно-порфировые месторождения для Хабаровского края, Приморья и Японии не характерны (Kigai, 2006). Здесь эпитеpmальные золотые месторождения формируются вне связи с медно-порфировыми. Причина заключается в том, что магматические источники у них, хотя и близкие по химизму (окисленные базитовые магмы и их дифференциаты), но, тем не менее, разные: медно-порфировые месторождения генетически связаны с монцитонитоидными и гранодиоритовыми магмами – дериватами океанических базальтов, плавящихся в зонах пологой субдукции при интенсивном сжатии, а эпитеpmальные золотые – с надсубдукционными вулканическими поясами как андийского, так и азиатского типа, независимо от крутизны субдукции.

ВОПРОСЫ ТЕРМИНОЛОГИИ

Что же касается самих, к сожалению, ныне широко используемых Дж. Хеденквистом, Р. Силлитоу и многими другими (в том числе и российскими) геологами терминов “*high sulfidation*” (*HS*), “*intermediate sulfidation*” (*IS*) и “*low sulfidation*” (*LS*), то они представляются нам крайне неудачными и обескураживающими, особенно при попытках перевести их на русский язык. Оказывается, что термин *high sulfidation* является своеобразным производным двух терминов: *high sulf(ate)* и (*high ox*)*idation*, т.е. высокосульфатный и высокоокисленный. В скобки здесь взяты части терминов, сокращенные Дж. Хеденквистом, его придумавшим (Hedenquist, 1987), для соединения в единое слово частей разных слов. В результате получился термин, ко-

торый на слух воспринимается как указывающий на обстановку высокой сульфидизации, а не сульфатизации. Некоторые другие геологи предпочитают более точный и более удобный термин *acid-sulfate*, т.е. **кисотно-сульфатный** (Heald et al., 1987; Stoffregen, 1987). Д.С. Коржинский (1963) такого рода метасоматиты называл сольфатарными аргиллизитами. В работе Памелы Хелд с соавторами (Heald et al., 1987) такая обстановка противопоставляется щелочно-восстановительной обстановке адуляр-серицитового (*adularia-sericite*) типа¹. Для месторождений последнего типа характерно развитие адуляра как в околорудных метасоматитах, так и в составе кварц-адуляровых жил (Silberman et al., 1972).

Термин *high sulfidation* (который некоторыми российскими исследователями переводится как *высокая сульфидизация*) провоцирует неправильное понимание содержания термина, поскольку в кислотно-сульфатных условиях могут быть устойчивы в основном сульфаты, а не сульфиды (за исключением пирита, энаргита и люционита). Для пирита и двух прочих минералов кислотная обстановка благоприятнее, чем для других сульфидов, потому что у пирита “гантельная” (по выражению Н.В. Белова) сера немного окисленнее, чем не спаренная простая двухвалентная сера других сульфидов, а у энаргита и люционита имеется мышьяк в высоком валентном состоянии. Наоборот, обстановка типа *low sulfidation*, как раз, благоприятна именно для формирования большинства прочих сульфидов и более пригодна для отложения эпитеpmальных золото-серебряных руд, чем *high sulfidation*. В качестве примера можно привести многочисленные эпитеpmальные золото-серебряные месторождения Северо-Востока России. Среди них, помимо упомянутого выше месторождения Купол, еще, возможно, только на одном небольшом месторождении Светлое близ порта Охотск золото встречено в обстановке *high sulfidation* в виде самородного золота и теллуридов при ничтожной роли сульфидов (Alderton, Brameld, 2006). По данным В.М. Округина и др. (2014, 2), на Камчатке имеется девять золото-серебряных эпитеpmальных месторождений, причем наиболее крупное из них Асачинское относится к кварц-адуляровому, т.е. *LS*-типу. К адуляровому типу относится также крупнейшее эпитеpmальное месторождение Хисикари в Японии с запасами более 300 т золота (включая уже добытую половину) при среднем содержании 40 г/т (Izawa et al., 1990). Из рассмотренных Памелой Хелд и др. (Heald et al., 1987) 17 эпитеpmальных месторождений Северной и Южной Америки только пять относятся к типу *high sulfidation*.

¹ Правда, серицит в этой обстановке, скорее всего, реликтовый минерал, так как он, в отличие от адуляра, требует кислых растворов для своего образования.

М. Эйнауи с Дж. Хеденквистом (Einaudi et al., 2003) попытались сохранить термин *high sulfidation*, представив понятие *sulfidation state* как термодинамическую активность серы — fS_2 . Но при этом у них не получилось показать на диаграмме зависимости фугитивности серы от температуры условия и метасоматиты кислотно-сульфатного типа, поскольку фугитивность сульфидной серы не могла подняться выше уровня конденсации атомарной серы. Для внесения в диаграмму кислотных метасоматитов им пришлось перейти от фугитивности серы к фугитивности кислорода.

Выражения *high sulfidation*, *intermediate sulfidation* и *low sulfidation* для обстановок рудоотложения и типов минерализации было бы правильнее заменить, соответственно, выражениями “кислотно-сульфатная” (*acid-sulfate*), “субнейтральная” (*subneutral*) и “восстановительная щелочная” или адулярового типа минерализация (*high reduction alkaline*, или *adularia type*). Но при этом следует помнить, что кислотно-сульфатная обстановка соответствует, строго говоря, условиям формирования метасоматитов, но не наложенных на них главных минералов руд — золота, серебра, их теллуридов и селенидов, а также различных сульфидов и сульфосолей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эпитермальные золото-серебряные и медно-порфиновые рудно-магматические системы и месторождения вполне самостоятельны и генетически независимы друг от друга. Наблюдаемая в некоторых регионах их пространственная и возрастная близость является в значительной мере случайной и обусловлена особенностями развития рудоконтролирующих структур в надсубдукционной обстановке. Эпитермальные Au—Ag месторождения связаны с базальтовым или андезитовым вулканизмом, развивающимся над зонами субдукции любой крутизны, приурочены к выходящим на земную поверхность трещинным системам, и их минерализация формируется в гидродинамически открытых условиях при постоянном гетерофазном газо-жидкостном состоянии флюидов в минералообразующей системе. Мезотермальные медно-порфиновые месторождения связаны с кварц-монцитонитовыми и диоритовыми магмами — дериватами океанической коры, расплавленной в условиях пологой субдукции. Их минерализация формируется в гипабиссальных условиях в закрытой системе, сначала надкритическими щелочными флюидами (создающими калишпатовые метасоматиты и молибденовое оруденение), а затем в условиях гетерогенизации флюидов (с созданием серицитовых метасоматитов в верхней части системы и медного оруденения — сначала в нижней части, но с последующим подъемом при достаточном подтоке метеорных или других вод).

Изложенные генетические особенности эпитермальных золото-серебряных и мезотермальных медно-порфиновых месторождений необходимо учитывать при прогнозировании их оруденения на глубину.

БЛАГОДАРНОСТИ

Я признателен двум анонимным рецензентам за отзывы и полезные замечания, которые были учтены при редактировании рукописи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аверьев В.В.* Условия разгрузки Паужетских гидротерм на юге Камчатки // Гидротермальные процессы и минералообразование в областях активного вулканизма. Труды лаборатории вулканологии / Отв. ред. С.И. Набоко М.: Изд-во АН СССР, 1961. Вып. 19. С. 80–98.
- Волков А.В., Сидоров А.А., Томсон И.Н., Алексеев В.Ю.* О многоярусном эпитермальном оруденении. ДАН. 2003. Т. 391. № 2. С. 219–222.
- Волков А.В., Сидоров А.А., Сидоров В.А.* О новом золото-серебро-сульфидно-редкометальном типе оруденения на Северо-Востоке России // ДАН. 2003. Т. 392. № 2. С. 217–220.
- Кига́й И.Н.* О пульсационной теории и критериях стадийности гидротермального минералообразования // Зональность гидротермальных рудных месторождений. М.: Наука, 1974. Т. 2. С. 164–195.
- Кига́й И.Н.* Модель многостадийного минералообразования, согласующаяся с вариациями основных параметров гидротермального процесса // Основные параметры природных процессов эндогенного рудообразования. Новосибирск: Наука, 1979. Т. 2. С. 7–34.
- Кига́й И.Н., Тагиров Б.Р.* Эволюция кислотности рудообразующих флюидов, обусловленная гидролизом хлоридов // Петрология. 2010. Т. 18. № 3. С. 270–281.
- Кига́й И.Н.* Метасоматиты, связанные с флюидами извествково-щелочных магм // Геохимия и петрология процессов породы- и рудообразования (журнал НАН Украины, Киев). 2012. Вып. 31–32. С. 56–66.
- Кига́й И.Н.* Зависимость металлогенического профиля надсубдукционных зон от угла погружения слэба // Рудообразующие процессы: от генетических концепций к прогнозу и открытию новых рудных провинций и месторождений: Тезисы Всерос. науч. конф., посв. 100-летию со дня рожд. академика Н.А. Шило, 21 октября–1 ноября 2013 г.). Москва: ИГЕМ РАН, 2013. С. 41.
- Коваленкер В.А., Сафонов Ю.Г., Наумов В.Б., Русинов В.Л.* Эпитермальное золото-теллуридное месторождение Кочбулак (Узбекистан) // Геология руд. месторождений. 1997. Т. 39. № 2. С. 127–152.
- Константинов М.М., Косовец Т.Н., Кряжев С.Г., Наталенко М.В., Стружков С.Ф. и Устинов В.И.* Строение и развитие золотоносных рудообразующих систем. М.: ЦНИГРИ, 2002. 192 с.
- Коржинский Д.С.* Особенности постмагматических процессов в вулканических формациях // Рудоносность вулканических формаций. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 52–64.
- Округин В.М., Зобенько О.А., Яблокова Д.А.* Серебряные руды — новый перспективный вид сырья горнорудной

- промышленности Камчатки // На перекрестке континентов. Петропавловск-Камчатский, 2014. С. 261–263.
- Округин В.М., Ким А.У., Москалёва С.В., Округина А.М., Чубаров В.М., Агаськин Д.Ф., О рудах Асачинского золото-серебряного месторождения (Южная Камчатка) // Вулканизм и связанные с ним процессы. Петропавловск-Камчатский, 2014. С. 330–334.
- Петровская Н.В. Формации золоторудных месторождений / Н.В. Петровская, Ю.Г. Сафонов, С.Д. Шер // Рудные формации золоторудных месторождений. М.: Наука, 1976. Т. 2. С. 3–111.
- Плотинская О.Ю., Грознова Е.О., Коваленкер В.А., Новоселов К.А., Зелтманн Р. Минералогия и условия образования руд Березняковского рудного поля (Южный Урал, Россия) // Геология руд. месторождений. 2000. Т. 51. № 5. С. 414–443.
- Прокофьев В.Ю. Геохимические особенности рудообразующих флюидов гидротермальных месторождений золота различных генетических типов (по данным исследования флюидных включений). Новосибирск: Наука, 2000. 192 с.
- Сидоров А.А., Волков А.В. О докембрийских эпитеpmальных месторождениях // ДАН. 2002. Т. 385. № 1. С. 87–91.
- Alderton D.H.M., Brameld F.C. Telluride mineralization at the Svetloe gold prospect, Khabarovsk Kray, Eastern Russia // Field workshop of IGCP-486. Izmir, Turkey, 2006. P. 1–5.
- Arribas A. jr. Characteristics of high-sulfidation epithermal deposits, and their relation to magmatic fluid // Magmas, Fluids, and Ore Deposits, Ed.: J.F.M. Thompson, Mineralogical Association of Canada Short Course. V. 23. 1995. P. 419–454.
- Chambefort I., Moritz R., von Quadt A. Petrology, geochemistry and U–Pb geochronology of magmatic rocks from the high-sulfidation epithermal Au–Cu Chelopech deposit, Srednegorie zone, Bulgaria // Miner. Deposita. 2007. V. 42. № 4. P. 665–690.
- Einaudi M.T., Hedenquist J.W., Inan E.E. Sulfidation state of fluids in active and extinct hydrothermal systems: Transactions from porphyry to epithermal environment // Gigenbach Volume, SEG Special publication 10 (S,F, Simmons, ed.), 2003. P. 285–313.
- Gigenbach W.E. The origin and evolution of fluids in magmatic-hydrothermal systems // H.L. Barnes (ed.) Geochemistry of hydrothermal ore deposits. 3rd ed. N.Y. : J. Willey & Sons, Inc., 1997. P. 737–794.
- Heald P., Foley N.K., Hayba D.O. Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: acid-sulfate and adularia-sericitic types // Econ. Geol. 1987. V. 82. № 1. P. 1–26.
- Hedenquist J.W. Mineralization associated with volcanic-related hydrothermal systems in the Circum-Pacific basin // Trans. of the 4th Circum-Pacific Energy and Mineral Resources Conference. Singapore. 1987. P. 513–524.
- Hedenquist J.W. Lithocap alteration and sulfidation state evolution of ores over porphyry systems: insight from volcanic-hydrothermal systems. Presentation in IGEM RAS, Moscow, April, 2011.
- Hedenquist J.W., Matzuhisa Y., Izawa E., White N.C., Gigenbach W.F., Aoki M. Geology, geochemistry, and origin of high sulfidation Cu–Au mineralization in the Nansatsu district, Japan // Econ. Geol. 1994. V. 89. № 1. P. 1–30.
- Hedenquist J.W., Arribas A. jr., Reynolds T.J. Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system: Far Southeast-Lepanto porphyry and epithermal Cu–Au deposits, Philippines // Econ. Geol. 1998. V. 93. № 4. P. 373–404.
- Hedenquist J.W., Arribas A. jr. The tops and bottoms of high-sulfidation epithermal ore deposits // Mineral deposits: Processes to Processing. Stanley et al., eds. Rotterdam: Balkema. 1999. P. 515–516.
- Heinrich C.A. The physical and chemical evolution of low-salinity magmatic fluids at the porphyry to epithermal transition: a thermodynamic study // Miner. Deposita. 2005. V. 3. № 8. P. 864–889.
- Heinrich C.A., Driesner T., Stefánsson A., Seward T.M. Magmatic vapor contraction and the transport of gold from the porphyry environment to epithermal ore deposits // Geology. 2004. V. 32. P. 761–764.
- Henley R.W. Epithermal gold deposits in volcanic terrains / Ed. Foster R.P. Gold metallogeny and exploration: London, Blackie and Son Ltd, 1991. P. 133–164.
- Izawa E., Urashima Y., Ibaraki K., Suzuki R. Yokoyama T., Kawasaki K., Koga A., Taguchi S. The Hishikari gold deposit: High-grade epithermal veins in Quaternary volcanic of southern Kyushu, Japan // In: Hedenquist, J.W., White, N.C., Siddeley, G., eds. Epithermal gold deposits of the Circum-Pacific. Journal of Geochemical Exploration. 1990. V. 36. P. 1–56.
- Kigai I.N. The Earth's rotation related asymmetry of the North Pacific tectonics and metallogeny // 12th IAGOD symposium. Moscow, 21–24 Aug., 2006. Extended abstracts. Moscow, 2006. P. 71.
- Lehmann B. Metallogeny of the Central Andes: geotectonic framework and geochemical evolution of porphyry systems in Bolivia and Chile during the last 40 million years // Metallogeny of the Pacific Northwest: Tectonics, magmatism and metallogeny of active continental margins. Eds. Khan-chuk A.I. et al. Proceedings of the Interim IAGOD conference. Vladivostok, Russia, September, 2004. Vladivostok: Dal'nauka, 2004. P. 118–122.
- Lowell J.D., Guilbert J.M. Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits // Econ. Geol. 1970. V. 65. № 4. P. 373–408.
- Rose A.W. Zonal relations of wallrock alteration and sulfide distribution at porphyry copper deposits // Econ. Geol. 1970. V. 65. № 8. P. 920–936.
- Silberman M.L., Chesterman Ch.W., Kleinhampel F.J., Gray C.H. jr. K–Ar ages of volcanic rocks and gold-bearing quartz-adularia veins in the Bodie mining district, Moho County, California // Econ. Geol. 1972. V. 67. № 5. P. 597–604.
- Sillitoe R. A plate tectonic model for the origin of porphyry copper deposits // Econ. Geol. 1972. V. 67. № 2. P. 184–197.
- Sillitoe R.H. The tops and bottoms of porphyry copper deposits // Econ. Geol. 1973. V. 68. № 6. P. 799–815.
- Sillitoe R., Hedenquist J. Linkages between Volcanotectonic Settings, Ore-Fluid Compositions, and Epithermal Precious Metal Deposits // Society of Economic Geologists Special Publication 10. 2003. P. 1–29.
- Stoffregen R. Genesis of acid-sulphate alteration and Au–Cu–Ag mineralization at Summitville, Colorado // Econ. Geol. 1987. V. 82. № 6. P. 1575–1591.
- Wallier S., Rey R., Kouzmanov K., Pettke T., Heinrich C., Leary S., O'Connor G., Tămaş C., Vennemann T., Ullrich T. Magmatic fluids in the breccia-hosted epithermal Au–Ag deposit of Roşia Montană, Romania // Econ. Geol. 2006. V. 101. P. 923–954.