

УДК 552.11: 552:551:550.42

ПЕТРОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ И ФЛЮИДНЫЙ РЕЖИМ ГИГАНТСКИХ МАГМО-РУДНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ЗОЛОТОРУДНЫХ СИСТЕМ

¹Гусев А.И., ²Гусев Н.И.¹*Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукшина,
Бийск, e-mail: anzerg@mail.ru;*²*Всероссийский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ), Санкт-Петербург*

Приведены петролого-геохимические критерии формирования гигантских магмо-рудно-метасоматических золоторудных систем и рассмотрен их флюидный режим. Акцентировано внимание на важной роли астеносферно-литосферной нестабильности, в результате которой возникают глубинные магмо-флюидодинамические системы. Последние, поднимаясь вверх, распадаются на сильно флюидизированные интрузивные составляющие, генерирующие гигантские золоторудные месторождения. Среди них выделены два типа: золото-черносланцевые с платиноидами и вольфрамом, парагенетически связанные с сильно контаминированными и редуцированными гранитоидами, и жильные золото-сульфидно-кварцевые с вольфрамом, связанные с сильно редуцированными гранитоидами, приуроченными к зеленосланцевым поясам типа Абитибиде. Приведены данные по изотопам стронция и неодима.

Ключевые слова: астеносферно-литосферная нестабильность, магмо-флюидодинамические системы, флюидный режим, золото, вольфрам, платиноиды, изотопы стронция и неодима

PETROLOGY-GEOCHEMICAL CRITERIES AND FLUID REGIME OF GIANT MAGMO-ORE-METASOMATIC GOLD SYSTEMS

¹Gusev A.I., ²Gusev N.I.¹*The Shukshin Altai State Academy of Education, Biisk, e-mail: anzerg@mail.ru;*²*A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, Saint-Petersberg*

Petrology-geochemical criteries of forming giant magmo-ore-metasomatic gold systems quoted and fluid regime discern. On the important role astenospheric-litospheric nonstable accept at that result deep magmo-fluid-dinamic systems arise. They go up then disintegrate on strong fluidization intrusive systems and then generate giant gold deposits. Two types deposits detached: gold black shists with platinum metals and tungstan, that paragenetic link with strong contamination and redused granites and lode gold-sulfide-quartz deposits with tungstan link with strong reduce granites that they time to green stone belts of type Abitibi. New data on isotopes strontium and neodimium quoted.

Keywords: astenospheric-litospheric nonstable, magmo-fluid-dinamic systems, fluid regime, gold, tungstan, platinum metals, isotopes Sr and Nd

Критерии глубинности формирования и их флюидный режим играют важнейшую роль в генерации различных месторождений, в том числе и золоторудных. По этим фундаментальным проблемам проводятся дискуссии, отражающие нерешённость указанных проблем в окончательном виде. Цель исследования – выявить петролого-геохимические критерии и оценить параметры флюидного режима гигантских золоторудных магмо-рудно-метасоматических систем с использованием новых данных.

Факторы глубинности магмо-рудно-метасоматических систем целиком определяются импактным выбросом в литосферу мощнейших ингредиентов магмо-флюидодинамических систем, генерированных глубокими сферами Земли (астеносферой, глубокими горизонтами верхней мантии). Такой сценарий влияния литосферного контроля формирования крупных провинций, вмещающих гигантские месторождения золота (Хоумстейк, Мурунтау, Ашанти, Тэлфер, Голден Майд, Сухой Лог и другие) обрисован в работах [9, 12]. При этом все

месторождения золота они отнесли к орогенному типу. Вероятно не все объекты следует рассматривать орогенными, так как многие из них формировались в период активного функционирования плюмов, порождавших рудогенерирующие магматиты, несущие изотопные метки и геохимические признаки верхней мантии, а гранитоиды – нередко с анорогенными характеристиками. Как считают многие из указанных авторов основными критериями формирования таких провинций (типа зеленокаменного пояса Абитибиде, провинции Восточного Голдфилда и других) являются:

1 – нестабильность астеносферы, которая порождает мощную инъекцию тепла и флюидного потока, которые и создают энергетический источник, создающий гигантские месторождения золота. По данным Ф.Л. Летникова, астеносферный слой имеет в основном флюидную природу, отступление его верхней границы обусловлено дегазацией Земли и «осушением» мантийного субстрата за счет выноса флюидных и ряда петрогенных компонентов в верхние

горизонты литосферы [6]. Это одна сторона функционирования астеносферы. Другая, не менее важная, рудообразующая сторона, целиком определяющаяся мощностью флюидных потоков, их составом и агрессивностью в отношении экстракции рудообразующих элементов. Следует учитывать и аномальные давления, возникающие в этих глубинных флюидах при проникновении в астеносферу разломов. Считается, что в океанической литосфере на границе с астеносферой (40–50 км) давление составляло $P = 13,2 \dots 20$ кбар. Для зрелой архейской литосферы в случае формирования зеленокаменного пояса Абитибиде на глубинах ~ 180–200 км оно могло достигать 59–66 кбар [6].

На наш взгляд, можно согласиться с основными положениями предлагаемого сценария канадских геологов [9, 11, 12], за исключением обстановки плюмтектоники, играющей в некоторых регионах решающую роль в возбуждении астеносферно-литосферной нестабильности и генерации крупных магмо-флюидодинамических систем [7], эволюция которых в процессе подъё-

ма в верхние зоны литосферы приводит к распаду сложных магмо-флюидодинамических систем с образованием рудогенерирующих магматитов (разнообразных по составу и не обязательно только гранитоидов), подъёму термального фронта, мощного потока флюидов и в благоприятных условиях – формированию гигантских месторождений золота [3]. Доминирующая часть геологических и геохимических данных больше свидетельствует об океанически-спрединговых обстановках формирования Южного Абитибиде (с общими запасами гигантских месторождений золота более 11,8 тыс. т) с участием плюмовой составляющей [10]. Важная роль плюмтектоники отводится нами и в формировании рудогенерирующего магматизма и золотого оруднения супергигантского месторождения Мурунтау (Узбекистан с запасами золота более 5,2 тыс. т) [5]. На влияние астеносферы на формирование месторождения Мурунтау указывают многочисленные дайки лампрофиров, являющиеся прямыми показателями астеносферного происхождения.

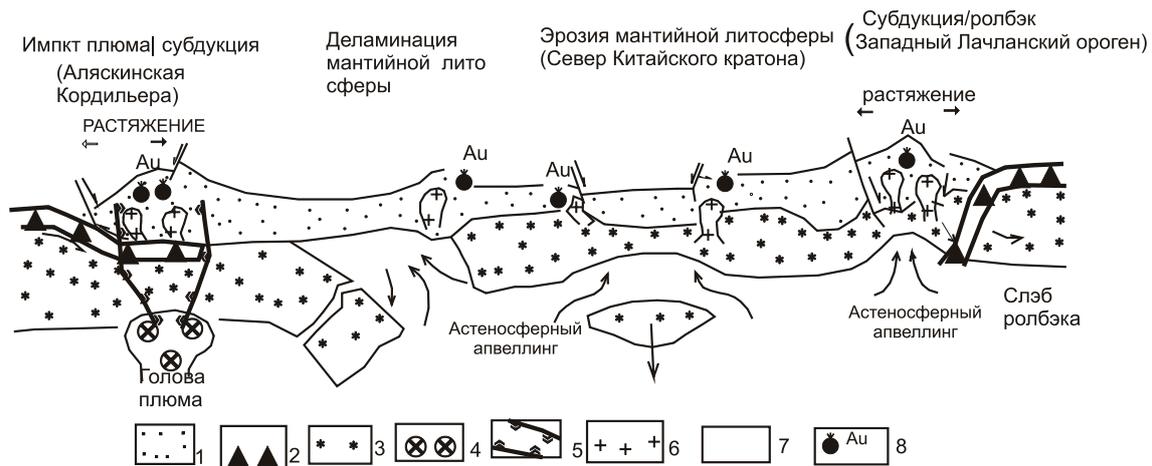


Рис. 1. Возможные сценарии астеносферно-литосферной нестабильности, выступающей в роли триггера генерации магмо-флюидодинамических систем, внезапного экстенсивного корового плавления, создающих гигантские месторождения золота по [9, 12] с добавлениями автора:
 1 – стабилизированный кратон; 2 – океаническая кора; 3 – литосферная мантия;
 4 – импакт плюма; 5 – магмо-флюидодинамические системы; 6 – золотогенерирующие магматиты; 7 – астеносфера; 8 – месторождения золота

2 – перед становлением гигантского месторождения золота должен быть небольшой период становления океанической коры (50–70 млн т) с примитивными значениями ϵNd , низкими отношениями $^{87}Sr/^{86}Sr$ и содержащими значительные рассеянные концентрации золота и серы. Как правило, золото и сера находятся в рассеянных количествах пирита и других сульфидов океанических осадков [9].

По нашим данным, источником значительной части золота и других металлов, помимо осадков океанической коры, является мантийный.

Интрузивный магматизм в рудных полях гигантских месторождений часто весьма разнообразен: от долеритов до лейкогранитов с обязательным присутствием лампрофировых даек. При этом часты штоки и крупные гранитоидные массивы. Про-

верка некоторых рудогенерирующих гранитоидов изучаемых объектов показала, что для таких гигантских месторождений, как Мурунтау, Сухой Лог, Олимпиада и ряда месторождений мирового класса (Бакырчик и другие), для гранитоидов характерны слабая контаминация коровым материалом и высокая восстановительная или редуцированная обстановка, выявляемые по составу биотитов рудогенерирующих гранитоидов, минералого-геохимическим параметрам и другим признакам [2].

В последние годы некоторые исследователи и по другим минералого-геохимическим параметрам выделяют специальный класс редуцированных гранитоидов, с которыми связаны гигантские и крупные месторождения золота [12, 13]. Ранее С. Ишихара такие гранитоиды относил к ильменитовой серии [15] глубинных магм.

Нами на основании собственных анализов биотитов рудогенерирующих гранитоидов и собранных в опубликованной литературе построена диаграмма, основанная на составе биотитов гранитоидов, на которой выделены поля мелких (I), средних и крупных месторождений (II) и гигантских месторождений золота (III) (рис. 2). Гигантские месторождения образуют 2 разобщённых кластера: 1 – золото-черносланцевые месторождения с повышенными вольфрамом и платиноидами, парагенетически связанные с сильно контаминированными и редуцированными гранитоидами; 2 – жильные золото-сульфидно-кварцевые месторождения, парагенетически связанные с гранитоидами с сильной редукцией (восстановленностью) среды (рис. 2). Первые локализуются среди теригенно-черносланцевых разрезов, а вторые – среди зеленокаменных пород и гранитов.

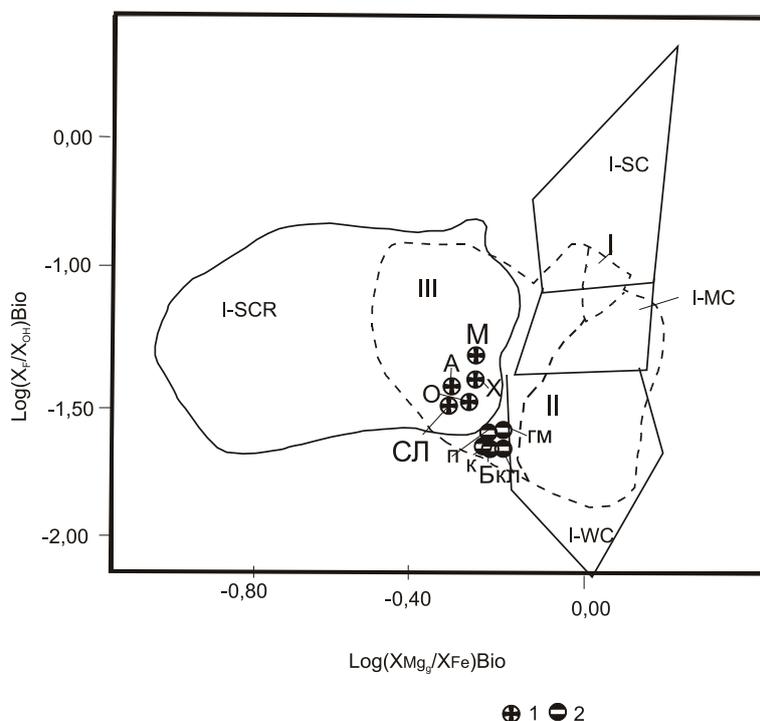


Рис. 2. Диаграмма $\log(X_{Mg}/X_{Fe}) - \log(X_F/X_{OH})$ в биотитах золотогенерирующих гранитоидов. Петрогенетические типы гранитоидов по [8]: I-WC – слабо контаминированные, I-MC – умеренно-контаминированные, I-SC – сильно контаминированные, I-SCR – сильно контаминированные и редуцированные. Поля золоторудных систем: I – мелких месторождений; II – средних и крупных месторождений, III – гигантских месторождений. Золото-черносланцевые месторождения с повышенными вольфрамом и платиноидами, связанные с сильно-контаминированными и редуцированными гранитоидами: М – Мурунтау, X – Хоумстейк, А – Ашанти, СЛ – Сухой Лог, О – Олимпиада; золото-кварцевые месторождения с повышенным вольфрамом, связанные с сильно редуцированными гранитоидами: ГМ – Голден Майл, КЛ – Кирклэнд Лэйк, К – Колар, П – Поркьюпан, Б – Берёзское

Проведено исследование изотопов неодима и стронция из гранитоидов и шеелита месторождения Мурунтау (табл. 1).

Анализ табл. 1 показывает, что значения изотопов неодима eNd и соотношения изо-

топов $^{87}Sr/^{86}Sr$ в гранитоидах значительно выше, а в шеелитах – намного ниже, хотя по времени формирования вольфрамат кальция кристаллизовался позднее гранитов. Эта картина распределения изотопов в гра-

нитах и шеелитах объясняется нами неоднократным подтоком более поздних флюидов, имевших иные соотношения изотопов. Вероятно, это связано с общей нестабиль-

ностью астеносферы, её флюидного режима, связанных с влиянием плюма и подтока более глубоких трансмагматических восстановленных флюидов.

Таблица 1

Изотопы стронция и неодима в гранитоидах и шеелитах месторождения Мурунтау

Граниты Сардаринского массива		Шеелиты рудных прожилков	
Значения изотопов неодима eNd	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	Значения изотопов неодима eNd	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr
1,9	0,70521	1,7	0,7014
2,3	0,70532	1,6	0,7012
2,4	0,70443	1,7	0,7011

Параметры флюидного режима для рудогенерирующих гранитоидов типичных представителей золото-черносланцевого оруденения и жильно-золото-сульфидно-кварцевого, приуроченного к зеленокаменному поясу приведены в табл. 2.

Для обоих типов МРМС реставрируются очень высокие значения общего давления

при их кристаллизации, а также флюидов, что свойственно абиссальной фации глубинности становления рудогенерирующих гранитоидов. Характерны более высокие значения восстановленности флюидов и концентрации M_{HF} в постгранитных дайках, указывающие на подток более глубоких трансмагматических флюидов при их формировании.

Таблица 2

Некоторые параметры флюидного режима гигантских золоторудных МРМС

Параметры флюидного режима	1	2	3	4	5
T °C	910	920	900	890	900
fO ₂	-13,3	-14,8	-12,4	-13,6	-14,3
fH ₂ O	2355	2456	3225	3116	3872
pH ₂ O	2450	2345	2820	2610	3550
pCO ₂	2560	3100	2950	2390	3728
lgfHF/lgfHCl	-2,1	-1,7	-2,25	-2,14	-1,55
K _{вос}	0,65	0,67	0,71	0,77	0,85
M _{HF}	0,012	0,076	0,023	0,084	0,112

Примечание. T °C – температура кристаллизации; lg fO₂ – логарифм фугитивности кислорода; fHF, fH₂O – фугитивности плавиковой кислоты и воды; pH₂O, pCO₂ – парциальное давление воды и углекислоты; K_{восст} – коэффициент восстановленности флюидов; M_{HF} – концентрации плавиковой кислоты во флюидах в моль/дм³ по [1]; МРМС Киркленд Лейк 1 – Интрузия, дайка гарнит-порфира; МРМС Мурунтау: 3 – гранодиориты Сардаринского массива, 4 – дайка сиенитов, 5 – дайка гранодиорит-порфиров.

Давление в очаге системы при формировании лейкогранитов и даек оценено в пределах 6...9 МПа (по соотношениям Al^{VI} к Al^{IV} в биотитах), указывающее на абиссальную фацию магматитов [4].

Таким образом, для формирования гигантских магмо-рудно-метасоматических золоторудных систем важное значение имели не только показатели восстановленности среды, но и степень контаминации корового материала. В случае плюмовой природы в системах наблюдаются резкие колебания изотопов стронция и неодима, вызванные неоднократным подтоком более глубоких и вос-

становленных флюидов. По этой же причине в поздних дайках наблюдаются более высокие значения восстановленности флюидов и высокие концентрации плавиковой кислоты. В целом для МРМС характерны высокие общие давления, свойственные абиссальной фации глубинности при их генерации.

Выделены два типа гигантских золоторудных МРМС, различающиеся в магмогенерирующей части степенью контаминации корового материала, а в рудной части по составу: 1 – золото-черносланцевые МРМС с платиноидами и вольфрамом с сильной контаминацией черносланцевого субстрата; 2 –

жильные золоторудные МРМС, приуроченные в основном к зеленосланцевым поясам (типа Абитиби) и рудовмещающим сильно восстановленным гранитоидам, имеющим золото-вольфрамовый состав в рудной части.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксюк А.М. // Петрология. – 2002. – Т.10, №6. – С. 630–644.
2. Гусев А.И. Металлогения золота Горного Алтая и южной части Горной Шории. – Томск: Изд-во СТУ, 2003. – 308 с.
3. Гусев А.И., Гусев Н.И. // Региональная геология и металлогения. – Санкт-Петербург, 2005. – №23. – С. 119–129.
4. Гусев А.И. Связь поверхностных структур Земной коры с глубинными: XIV Международная конференция. – Петрозаводск, 2008. – С. 159–161.
5. Гусев А.И., Коробейников А.Ф. // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 315, № 1. – С. 11-18.
6. Летников Ф.Л. // Вестник ОГТГН РАН. – 1999. – № 4(10). – С. 5–20.
7. Соколов Б.А., Старостин В.И. // Смирновский сборник. – 1997. – С. 100–130.
8. Ague I.I., Brimhall G.H. // Bull. Geol. Sci. Amer. – 1988. – Vol. 100, №6. – P. 891-911.
9. Bierlein F.P., Groves D.I., Goldfarb R.J., Dube B. // Miner. Deposita. – 2006. – V. 40, №7. – P. 874–886.
10. Condie K.C. // Tectonophysics. – 2000. – Vol. 322, № 2. – P. 153–162.
11. Gardoll S. // Ore Geol. Rev. . – 2001. – Vol. 18, № 1. – P. 1–75.
12. Goldfarb R.J., Groves D.I., Gardoll S. // Ore Geol. Rev. – 2001. – Vol 18, № 1. – P. 1–75.
13. Hart C.J.R., Mair J.L., Goldfarb R.J., Groves D.I. // Transaction of the Roayl Society of Edinburgh: Earth Science. – 2005. – Vol. 95, № 3. – P. 339–356.
14. Hart C.J.R. Reduced Intrusion-Related Gold Systems. – Yukon, Canada, 2009. – 77 p.
15. Ishihara S. // Econom. Geology 75 th Anniversary Volume. – 1981. – P. 458–484.