

УДК 553.41

## ХАКАНДЖИНСКОЕ ЭПИТЕРМАЛЬНОЕ ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ ПРИХОХТЬЯ (РОССИЯ): ФАКТОРЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ

Остапенко Н.С., Нерода О.Н.

ФГБУН «Институт геологии и природопользования» ДВО РАН,  
Благовещенск, e-mail: ostapenko\_ns@mail.ru

Цель исследования – выявление основных геологических факторов, повлиявших на локализацию и формирование руд Хаканджинского месторождения на основе совокупного анализа оригинального полевого материала, а также разведочных и опубликованных данных. Авторами оценена роль различных геологических факторов в локализации месторождения, рудных тел и ореолов рассеяния. Расчетным путем обосновано, что источником рудоносных растворов был коровый вулканический очаг, флюидопроводниками – жерло вулкана и сопровождающие его разломы. Местом локализации руд явилась положительная экранированная слабо проницаемыми породами (флюидальными покровными и экструзивными риолитами, сферолитовыми лавами, псефитовыми туфами) структура с объемным подэкраным коллектором флюида, сложными туфобрекчиями и агломератами повышенной проницаемости (литологический фактор). Сделан вывод, что основным условием формирования крупных промышленных месторождений является сопряжение в пространстве и времени посредством флюидопроводников, металлоносного глубинного магматического очага и положительной экранированной структуры вблизи поверхности с объемным подэкраным коллектором флюидов. В неэкранированных структурах крупные месторождения не образуются.

**Ключевые слова:** геологические купола, породные коллекторы и экраны, флюидопроводники, рудные тела, ореолы рассеяния

## KHAKANDGINSKOYE EPITHERMAL AU-AG DEPOSIT, PRIOKHOTIYE (RUSSIA): FACTORS OF LOCALIZATION AND FORMATION CONDITIONS

Ostapenko N.S., Neroda O.N.

*Institute of Geology and Natural Management of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences,  
Blagoveschensk, e-mail: ostapenko\_ns@mail.ru*

Detection the main geological factors influenced on Khakandginskoye deposit ore formation and localization based on original field material combined analyses, also prospecting and published data, is the purpose of this article. Authors estimated the role of different geological factors in localization of deposit, ore bodies and dissemination halo. Rated methods proved that origin of ore-bearing solution was crust volcanic core, fluid conductors were volcanic crater and accompanied faults. Ore localization site presents positive shielded low-permeable (fluid-bedding and extrusive riolites, spherolite lavas, psepfit tuffs) structure with massive under-shielded fluid collector, complex tuff-breccias and high-permeable agglomerates (lithological factor). It concluded the main condition for large productive deposit formation is spatial and temporal interface by means of fluid conductors, metal-bearing deep magmatic core and positive shielded structure nearby surface with massive under-shielded fluid collector. Large deposits don't occur in non-shielded structures.

**Keywords:** geological domes, rock collectors and shields, fluid conductors, ore bodies, dissemination halo

С вулканическими и вулкано-плутоническими поясами, зонами и локальными структурами на континентах известно большое число проявлений и месторождений золота, серебра, олова, меди, молибдена и полиметаллов. Изучены они в разной степени. В их локализации исследователи обращают внимание на геологические обстановки. В работе [6], например, приводится типизация структурных условий локализации золото-серебряных месторождений. А какие еще факторы важны для локализации этого типа и таких месторождений? Целью данной работы является рассмотрение широкого круга условий и факторов рудолокализации на примере хорошо изученного, разведанного и введенного в эксплуатацию Хаканджинского золото-серебряного ме-

сторождения Приохотья (Россия). В его изучении на разведочной стадии принимал участие один из авторов статьи (Н.С. Остапенко). Собран полевой материал по геологическому разрезу вулканитов, по составу минерализации, ее приуроченности к первичным ореолам рассеяния. Совокупный анализ этих материалов и публикаций исследователей по месторождению и вмещающей его вулканоструктуре явился основой достижения поставленной цели.

### Геологическое строение Хаканджинского месторождения

Хаканджинское месторождение (рисунки) кратко характеризуется по материалам В.Г. Невструева и Л.В. Эйриша [3], Ф.Г. Федчина [4], В.Г. Хомича [5] с учетом

материалов автора и разведочных данных. Оно расположено в южной части Охотско-Чукотского вулканического пояса, в зоне Охотско-Ульберийского поднятия в Ульинском вулканогенном прогибе. Фундамент вулканогена представлен пологоскладчатыми терригенными толщами триаса. Рудное поле приурочено к вулcano-плутонической структуре диаметром 10–15 км, образованной сложным комплексом покровных, экструзивных, субвулканических и интрузивных образований мелового возраста.

Месторождение расположено в пологозалегающей (углы 10–30°) толще кислых вулканитов амкинской свиты позднего мела, с несогласием налегающих на андезиты и туфы ульбериканской свиты ( $K_1$ ) мощностью 100–500 м. Вулканиты пропильтизированы в хлорит-карбонатной фации. Вблизи рудных тел отмечаются кварцадуляровые с каолинитом преобразования пород, сменяющиеся по мере удаления аргиллизацией пород и гидрослюдисто-кварцевым замещением.

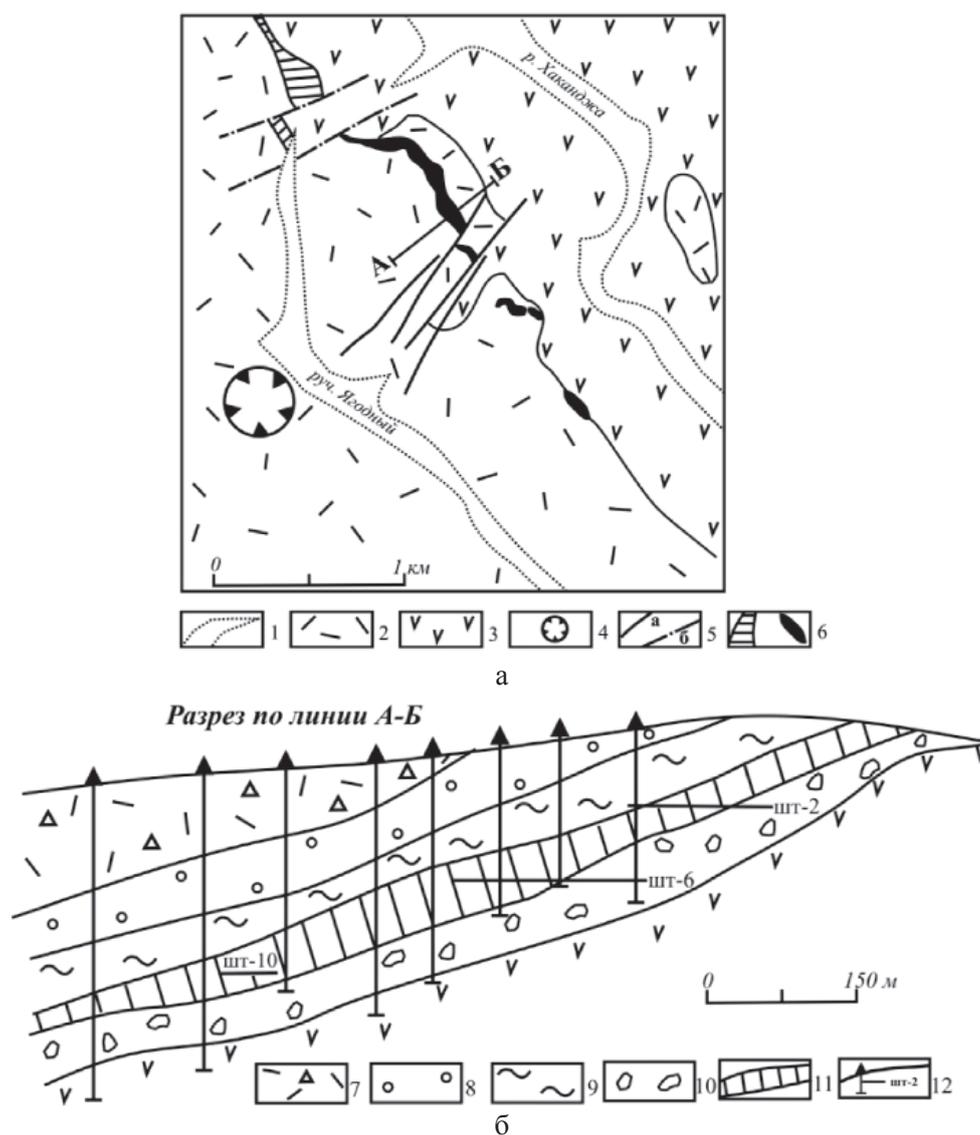


Схема геологического строения месторождения Хаканджа, Приохотье  
(по В.Г. Невструеву и Л.В. Эйришу [3] с дополнениями авторов):

а – план, б – разрез;

1 – аллювий водотоков; 2 – покровные (амкинская свита) и субвулканические риодациты и дациты  $K_2$ ;

3 – андезиты и туфы ульбериканской свиты,  $K_1$ ; 4 – жерло вулкана;

5 – дайки андезитов и граносиенит-порфиров  $K_2$  (а) и тектонические нарушения (б);

6 – рудные зоны: штокверки и кварцевые жилы. На разрезе: 7 – туфы дацитов и риолитов;

8 – сферолитовые риолиты; 9 – флюидальные риолиты; 10 – агломератовые туфы дацитов;

11 – жильно-прожилковая рудная зона; 12 – разведочные скважины и штольни

Рудное поле разбито тектоническими разрывами СЗ и СВ простирания, часто заполненными разнообразными дайками, и имеет блоковое строение [5].

Рудоносная зона месторождения представлена простирающейся в северо-западном направлении пологой зоной брекчированных, окварцованных и адуляризованных риолитов с кварцевыми жилами и прожилками общей мощностью 7–52 м, погружающейся на ЮЗ под углами 15–30°. Она размещается в нижней части толщи вулканитов кислого состава. Протяженность ее продуктивной части по латерали более 1 км, а по падению – около 300–600 м. Границы продуктивных тел в зоне выделяются по результатам опробования. Их обычная мощность 4–6 м. На месторождении преобладают сетчатые, брекчиевые и линейно-полосчатые текстуры руд. Неокатанные обломки пород в рудах обычно преобразованы в гидрослюдисто-адуляр-кварцевые метасоматиты. Цементирующий их кварц и кварц секущих прожилков относятся к нескольким генерациям. Жильное выполнение имеет массивное сложение, тонкозернистую структуру, молочно-белый или серый цвет, а местами колломорфно-полосчатое строение с коккардовой и крустификационными текстурами. С кварцем ассоциирует адуляр. Сульфидов в рудах обычно около 0,5%. На глубоких горизонтах рудоносной зоны их количество увеличивается

до 3%. Основные рудные минералы – золото, аргентит, электрум, полибазит, галенит, сфалерит, халькопирит, гематит, самородное серебро. Нерудные – кварц, адуляр, родонит, кальцит, манганкальцит.

Золото приурочено к интерстициям в кварце, контактам зерен кварца и адуляра, кварца и обломкам пород. Проба золота в ранних родонит-родохрозитовых рудах 609–774‰, составляет в среднем 627, а средняя по месторождению – 536–544. Элементы-примеси в золоте: Те (0,002%) и Fe, As, Sb, Cu, Pb. Их общее количество составляет около 0,5%. Основными серебросодержащими минералами руд являются аргентит, полибазит, электрум, самородное серебро и кюстелит. Отношение в рудах Au:Ag = 1:20–110, наиболее низкое его значение характерно для верхних горизонтов месторождения.

В рудах всегда калий многократно преобладает над натрием (K<sub>2</sub>O – 2,4–4%, Na<sub>2</sub>O – 0,01–0,13). Обычное содержание золота в рудах менее 10–20 г/т, в богатых – до 50–100 г/т, а серебра соответственно 350–600 г/т и до 1–5 кг/т. С глубиной в рудных телах снижается проба золота, уменьшаются количества аргентита, галенита, повышаются количества арсенопирита (до 3%), полибазита, сфалерита, сульфосолей серебра и сидерита. Кроме золота и серебра в продуктивную стадию накапливались Pb, Zn, Mn, Cu, As, иногда Sb, W (таблица).

Характеристики фонового поля и коэффициентов накопления элементов в рудах и ореолах Хаканджинского месторождения (по Н.С. Остапенко)

Химические элементы	Содержание химических элементов, г/т				Коэффициенты накопления элементов	
	кларки кислых вулканитов	фоновые в рудовмещающих липарито-дацитах	в рудных телах	в околорудных эндогенных ореолах	в рудных телах	в ореолах
Золото	0,0045	0,0014*	2–10	0,01–0,1	1400–7000	7–700
Серебро	0,05	0,03*	100–750	2–50	3000–25000	7–1500
Мышьяк	1,5	(2)	50–300	100–1000	25–150	50–500
Свинец	20	7	70–200	30–100	10–30	4–15
Цинк	60	50	200–500	50–200	4–10	1–4
Медь	20	8	30–100	20–30	4–12	2–4
Вольфрам	1,5	1	10	10	10	10
Молибден	1	0,5	–	1–5	–	2–10
Олово	1	0,63	5–7	5–10	–	8–15
Бор	15	5–7	10–30	10–70	1–4	1–10
Марганец		500	> 1%	700	2-20	1,5
Ряды накопления элементов относительно фона пород:	в рудах – Ag–Au–As–Pb–MnCu, Zn, W–B в ореолах – Ag–Au–As–Pb, Sn–Mo, W, B–Cu, Zn–Mn					

Примечание. \*по Ф.Г. Федчину и др. [4].

Геохимический ряд вертикальной зональности руд по В.Г. Невструеву и Л.В. Эйришу [3] следующий (сверху вниз): Ag–Pb–Mn–Zn–Au–Cu–W–Mo–As.

Фоновые геохимические характеристики наименее измененных вулканитов за пределами рудного поля обычно ниже кларковых содержаний (таблица). Гидротермально преобразованные породы рудного поля характеризуются повышенными против фона содержаниями рудогенных элементов. Рудная зона сопровождается первичным ореолом рассеянно-вкрапленной минерализации очень больших поперечных размеров ( $n$  100 м), особенно по серебру и мышьяку.

Коэффициенты накопления элементов в рудных телах и ореоле зоны приведены в таблице. Максимальных накоплений в рудах и ореолах достигает серебро (до 25000 раз), золото (до 7000–10000 раз) и мышьяк (150–500 и более раз), что позволяет отнести минерализацию к золото-серебряному геохимическому типу. Из других элементов менее значительно над уровнем фона накапливаются в рудах и ореолах свинец (в среднем до 15–30 раз), молибден, вольфрам, олово и бор (до 10–20 раз), цинк и медь (до 4 раз). На верхних уровнях рудных тел иногда накапливается марганец ( $K_n = 20$ ). В ореоле рудной зоны повышается частота встречаемости аномальных проб олова, молибдена, вольфрама, мышьяка по сравнению с рудными телами, из чего можно сделать заключение о более раннем (еще на стадии прерудного метасоматоза) отложении значительной части этих металлов в виде сульфидов, шеелита и примесей.

#### **Факторы локализации месторождения**

На основе приведенной краткой характеристики Хаканджинского месторождения отметим основные факторы его локализации – роль структурного фактора, литологии и проницаемости рудовмещающих пород, источника гидротермальных растворов металлов, флюидопроводников, динамики извержений.

**Структурный фактор.** Структурная приуроченность месторождения была детально проанализирована в работе В.Г. Хомича [5, 6]. На основе картирования разведочных выработок, скважин и учета результатов геолого-съёмочных работ была установлена приуроченность месторождения к валлообразному поднятию терригенного фундамента вулканической депрессии и развившегося на нем локального вулкано-купольного поднятия, сложенного позд-

немеловыми ( $K_2$ ) вулканитами кислого состава амкинского комплекса, несогласно налегающего на андезиты ульбериканской свиты ( $K_1$ ) основания вулканической депрессии. Совмещенное с ним локальное вулканогенно-интрузивное купольное поднятие приурочено к узлу пересечения разломов фундамента различных простираний. О динамичности его развития свидетельствует обилие покровных экструзивных тел и разнообразных по составу субвулканических даек.

#### **Породный (литологический) фактор.**

Рудовмещающими являются в основном обломочные вулканиты – туфобрекчии и агломераты нижней части разреза амкинской свиты (рисунок). Это наиболее структурно и текстурно неоднородные, хрупкие и наиболее проницаемые для флюидов породы. Они контролировали распределение флюидов, метасоматоз и рудоотложение.

**Закрытость рудоформирующей гидротермальной системы.** Висячем боку рудного тела залегают слабо проницаемые для флюидов в ненарушенном состоянии лавовые и экструзивные тела флюидалных и сферолитовых риолитов амкинского вулканического комплекса. Они и налегающие на них вышележащие псефитовые туфы являлись экраном для флюидов, а нижележащая пачка обломочных туфобрекчии и агломератов являлась их коллектором. Флюиды накапливались в наиболее проницаемых выположенных участках, где длительно взаимодействовали с вмещающими породами и отлагали металлы.

**Флюидопроводники.** К их числу следует отнести жерло палеовулкана и обрамляющие его разломы повышенной глубинности, а также субмеридиональное валлообразное поднятие триасовых терригенных пород фундамента, сланцевые пластины и горизонты которого могли фокусировать поток глубинных флюидов очага и по разломам направлять его к ядру локального вулканического поднятия в зону основного коллектора флюидов. Наибольшую глубину (или ширину в проекции на поверхность) рудная зона имеет вблизи жерла, а к северному и южному флангам она сужается и беднеет.

#### **Источники рудного вещества и условия формирования месторождения**

Несмотря на невысокую (ниже кларка) золотоносность вулканических пород [4], оруденение все же можно связать с магматическим очагом амкинского магматического комплекса. Для начальной стадии

развития вулканических накоплений кислого состава весьма характерны пирокластические образования. Они имеют наиболее низкую золотонность. Однако это не означает, что золотонность магматического расплава в очаге была именно таковой. При эксплозивных извержениях вулкана вся флюидная фаза уходила в атмосферу. Можно полагать, что отложившиеся на обломках и частицах туфов соли и металлы легко смывались атмосферными осадками и попадали в конце концов в Мировой океан. Субвулканические магматические тела и интрузии, вследствие их формирования на некоторой глубине в частично закрытой системе, оказываются более золотонными. На наш взгляд, именно они являются индикатором рудоформирующей способности очагов. Это легко показать следующим примерным расчетом.

По экспериментальным данным [1, 2], соотношение золота между силикатным расплавом и флюидом  $K_p^{фл}$  составляет 1:10–200. Можно полагать, что содержащееся золото в породах эксплозий вулкана в количестве менее 1 мг/т (табл. 1), это остаточное «силикатное» золото. Остальное золото вместе с флюидом покинуло открытую магматическую систему в процессе извержений. Если для Хаканджинского палеовулкана принять минимальную величину  $K_p^{фл} = 10$ , то исходное золото во флюидизированной магме могло составить 6 мг/т. Следовательно, при эксплозивных извержениях вулкана из каждой 1 т флюидизированного расплава вместе с флюидом могло быть вынесено более 5 мг/т золота, а из 1 км<sup>3</sup> закристаллизованных изверженных пород – около 10 т золота. Таков минимальный удельный потенциал магматического очага. Если же от такого глубинного магматического очага значительная часть флюида будет отделяться постепенно и мигрировать по разломам-флюидопроводникам в охарактеризованные выше улавливающие коллекторы положительных экранированных структур, вероятность формирования крупных месторождений золота будет велика. Следовательно, Хаканджинское месторождение золота и серебра сформировалось в позднем мелу, на отрезке времени после формирования достаточно надежного породного экрана.

### Заключение

По результатам детального изучения Хаканджинского золото-серебряного ме-

сторождения и анализа материалов разведки и публикаций нами выявлены основные факторы рудолокализации и условия формирования промышленных гидротермальных месторождений вулканогенного класса.

1. Основными из них являются наличие и обязательная сопряженность в пространстве и времени, посредством разломов, глубинного источника металлоносных флюидов (магматического очага) и положительных экранированных структур в верхнем этаже земной коры, имеющих объемные породные коллекторы для накопления флюида. Флюидопроводники на пути от магматических очагов к рудолокализирующим структурам фокусируют потоки. Важна и динамичность развития магматогенно-рудных систем, обуславливающая возрастание проницаемости пород коллекторов. Все эти факторы без исключения важны во взаимодействии. Но все же ключевым фактором среди них следует считать экранированность рудолокализирующих положительных структур, так как в его отсутствие (даже при наличии всех благоприятствующих остальных) концентрированное оруденение не формируется. Флюиды рассеиваются в большом объеме проницаемых пород.

2. Указанные факторы важны также для формирования гидротермальных месторождений любых металлов на различных глубинах, в различных генетических комплексах и во все минерагенические эпохи.

### Список литературы

1. Глюк Д.С. Экспериментальные исследования водно-силикатных систем с золотом. – Новосибирск: Наука, 1994. – 117 с.
2. Миронов А.Г., Альмухамедов А.И., Гелетий В.Ф. и др. Экспериментальные исследования геохимии золота с помощью метода радиоактивных изотопов. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1989. – 281 с.
3. Невструев В.Г., Эйриш Л.Б. Минералого-геохимическая зональность золото-серебряного месторождения Приохотья // Минералогия метаморфических и рудных образований Дальнего Востока. – Владивосток, 1981. – С. 35–39.
4. Федчин Ф.Г., Мальцев В.Г., Залевский С.Н., Куличенко А.Г. Золото и серебро в магматизме Селемджинской вулканно-тектонической структуры (Приохотье) // Геохимия вулканических зон Дальнего Востока. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1978. – С. 95–108.
5. Хомич В.Г. Хаканджинское месторождение золота и серебра (геологическое строение, особенности размещения оруденения) // Рудные месторождения континентальных окраин. – Вып. 1. – Владивосток: Дальнаука, 2000. – С. 140–169.
6. Хомич В.Г., Иванов В.В., Фатьянов И.И. Типизация золото-серебряного оруденения. – Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. – 290 с.