

УДК 553.3/4

ТИПЫ ЗОНАЛЬНОСТИ ОРУДЕНЕНИЯ СИНЮХИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО ПОЛЯ (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

Гусев А.И.

*Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукшина,
Бийск, e-mail: anzerg@mail.ru*

Приведены различные типы зональности эндогенного оруденения Синюхинского золото-медно-скарнового месторождения. Описаны зональности рудного поля, месторождений и рудных тел. Показана важная роль в формировании зональности оруденения структурных факторов, а также изменение состава флюидов относительно флюидоподводящих каналов. Для самородного золота различных генераций, зонально распределённых в рудных телах, проведено 3-D моделирование. Проанализировано зональное распределение в рудных телах парагенезисов скарновых минералов, гистерогенных скарновых изменений, продуктивных гидротермальных сульфидов и самородного золота и его пробыности, изотопов серы в пиритах.

Ключевые слова: эндогенная зональность оруденения, скарны, золото, медь, 3-D моделирование, изотопы серы сульфидов, пробыность золота

TYPES ZONING OF ORE MINERALIZATION SINJUKHINSKOE GOLD ORE DISTRICT (MOUNTAIN ALTAI)

Gusev A.I.

The Shukshin Altai State Academy of Education, Biisk, e-mail: anzerg@mail.ru

The different types of zoning of endogenic ore mineralization of Sinjukhinskoe gold-copper-skar deposit lead. Zoning of ore field, deposits and ore bodies described. The important role in forming of zoning ore mineralization structural factors and change composition of fluid concerning of fluid leading canals demonstrated. 3-D modeling for nature gold that it is zone distribution in ore bodies lead. Zoning distribution in ore bodies analyzed of paragenesis skarn minerals, gisterogenic skarn changing, productive hydrothermal sulphides and native gold and it fineness, isotopes of sulfur in pyrites.

Keywords: endogenous zoning of ore mineralization, skarns, gold, copper, 3-D modeling, isotopes of sulfur of sulfides, fineness of gold

Эндогенное оруденение в Синюхинском рудном поле, приуроченном к надинтрузивной позиции Синюхинского габбро-гранитоидного массива, имеет зональное строение. Различаются зональности рудного поля и месторождения [1]. Цель настоящей работы – показать различные типы эндогенной зональности оруденения, играющие важную роль в понимании генезиса оруденения.

Зональность рудного поля проявлена относительно штока заключительной (5) фазы внедрения низкощелочных лейкогранитов синюхинского комплекса (D_{1-2}), локализованных в южной части площади. Вектор зональности имеет С-З ориентировку. В указанном направлении происходит смена вольфрам-молибденового скарнового (на юге) на доминирующее золото-медно-скарновое (в центре рудного поля) и ореольного жильного медно-сульфидного и золото-сульфидно-кварцевого (на северо-западе). Инфильтрационные скарновые образования с наложенной продуктивной минерализацией имеют характер стратиформных залежей, распространённых на 5 уровнях, приуроченных к контактам мраморов и вулканитов усть-семиинской свиты (C_2). Зональность относится к ярусному типу и имеет

вертикальный размах более 1,5 км. Геохимические спектры относительно лейкогранитов объединяют 3 зоны, сменяющиеся с юга на северо-запад: W, Mo, Be, Sn → Au, Cu, Bi, Sb → Au, Cu, B, Hg.

Топоминералогическими исследованиями по отдельным месторождениям (Файфановскому, Первому Рудному, Западно-Файфановскому) выявлены различные типы зональности месторождений. В зональном строении золото-медно-скарновых месторождений определяющую роль играют структурный фактор и имманентная эволюция флюидов. На месторождениях выявлены две модели, различающиеся характером проявления зональности и продуктивностью профилирующего оруденения. Первому типу модели соответствуют скарны, в формировании которых флюидоподводящий разлом для ранних скарновых ассоциаций, последующих пневматолито-гидротермальных изменений и наложенной золото-сульфидной минерализации был единым (второе рудное тело Файфановского месторождения). Минералогическая и химическая зональность в строении рудного тела проявлены относительно узла сочленения Сквозного и Западного разломов. Относительно фокуса зональности

в плоскости стратиформного рудного тела отмечается закономерное положение в пространстве максимумов развития парагенетических ассоциаций скарновых, жильных и сульфидных минералов, проявившихся в разные стадии (стадийная зональность).

Вблизи фокуса зональности проявились наиболее высокотемпературные и наиболее полно проявленные парагенезисы раннего скарнового этапа (пироксен-гранатовый, с высоким содержанием пироксена (до 20%), а гранат с высоким андрадитовым миналом (30–40%), гистерогенных метасоматических изменений скарнов с образованием ортоклаз-кварц-эпидотовых, волластонит-ферробустамитовых ассоциаций. Только здесь встречен парагенезис кварца 2 генерации с пирротинном, халькопиритом и низкопробным медистым золотом первой генерации. Широкое развитие в эпицентре зональности получил парагенезис мелонита, алтаита, тетрадимита и высокопробного золота 2 генерации.

На удалении от фокуса зональности (на восточной выклинке рудного тела) в составе пироксен-гранатовой ассоциации гранат характеризуется содержанием андрадитовой молекулы в пределах 10–25%. Значительно снижается роль пироксена (1–5%) в этом парагенезисе. А в ортоклаз-кварц-эпидотовом парагенезисе резко уменьшается количество ортоклаза. Только на восточной выклинке рудного тела встречен парагенезис кварца 4 генерации со сфалеритом, галенитом и золотом 3 генерации.

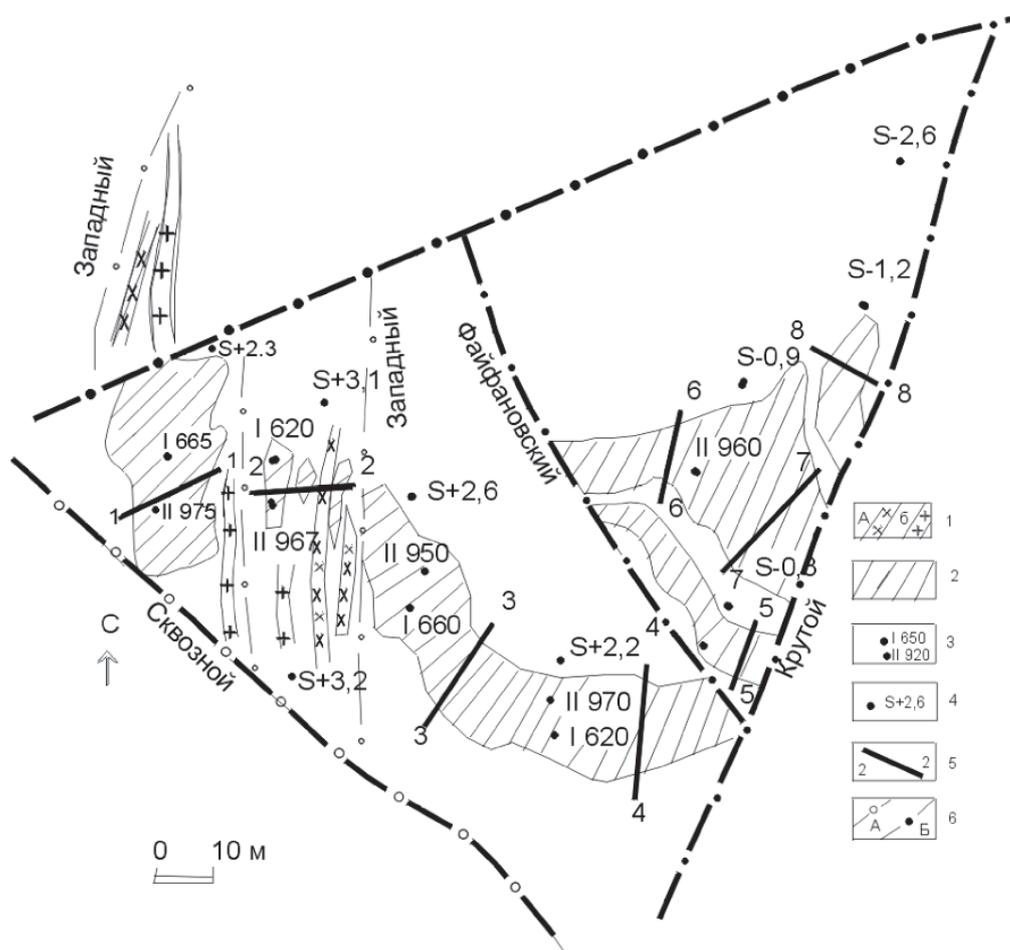
Пироксен доминирует на западной, северной и восточной выклинках рудного тела, волластонит присутствует в наибольших количествах на северном и восточном флангах, везувиан – на северном выклинивании, эпидот – в эпицентре и на южной выклинках, апатит, магнетит и коллофан – на восточной, сорудный кварц – вблизи эпицентра, пренит – локальными пятнами на всех выклинках. Сульфидная минерализация также закономерно распространена относительно эпицентра. Борнит, халькозин и халькопирит максимально развиты вблизи последнего, сфалерит – на южной, галенит – на восточной, тетраэдрит, пирит всех трёх генераций и арсенопирит – на северной выклинках рудного тела. Закономерно меняются типоморфные особенности гранатов и пироксенов, максимумов развития концентраций золота, меди, серебра, молибдена в плоскости рудного тела. Положение различных сульфидов и генераций золота, тренд изменения тяжёлого изотопа серы от-

носительно фокуса зональности меняется от +3,1 до –2,6, указывая на некоторое фракционирование изотопов серы по мере удаления от флюидоподводящего канала (рисунок).

Только вблизи последнего получила широкое распространение ранняя, более высокотемпературная и низкопробная (600–650‰) генерация золота. Типохимическими элементами первой генерации золота являются медь и серебро. Только в первой генерации присутствует железо. В единичных пробах первой генерации отмечаются марганец и титан. В матрице множественной корреляции золото позитивно связано с железом (0,94), висмутом (0,74), медью (0,70). Распределение золота в первой генерации неравномерное, что подтверждается двухвершинной гистограммой распределения. 3-D моделирование для золота первой генерации с наиболее коррелируемыми элементами-примесями показывает дугообразную сплайн-поверхность в одном случае от минимумов Au и Bi к max Fe, а в другом случае – от min Au и Cu к max Bi. Основная же высокопробная генерация золота распространена повсеместно и даёт небольшие флуктуации пробности в плане рудного тела. Вторая генерация характеризуется доминированным преобладанием из элементов-примесей серебра. Только в этой генерации присутствуют в ощутимых количествах теллур и сера. Следует отметить, что в единичных пробах второй генерации отмечаются следовые содержания железа, сурьмы, свинца. В матрице множественной корреляции золото позитивно связано с висмутом (0,94), серой (0,52) и теллуrom (0,41). Распределение золота во второй генерации также неравномерное, что подтверждается двухвершинной гистограммой распределения. 3-D моделирование подтверждает вышеуказанную неоднородность самородного золота второй генерации. В одном случае сплайн-поверхность показывает закономерное восхождение от золота к висмуту и max S, а в другом случае вырисовывается обратная картина – повышение поверхности от теллура к висмуту (max) и резкое снижение в направлении к золоту. Самая поздняя третья генерация получила распространение на выклинках золото-медно-скарнового рудного тела, где в нём значительную роль приобретают сфалерит и галенит. Золото третьей генерации встречается в кварце четвёртой генерации стебельчатой микроструктуры. Описанный парагенезис сформировался в заключительную стадию рудного этапа и характеризуется низкими температурами

кристаллизации минералов (180-150°C). Типохимизм третьей генерации золота определяют ртуть и мышьяк, хотя в значительных количествах присутствуют также медь и серебро. В отдельных пробах заключительной генерации самородного золота определены незначительные концентрации свинца, цинка, сурьмы, селена. В этой генерации золото позитивно коррелируется со ртутью (0,68) и серебром (0,43). Варьирование типохимизма генераций золота отражается и на резких изменениях сплайн поверхностей, показывающих в трёхмерном пространстве на основе 3-D моделирования, взаимоотношения золота с позитивно коррелируемыми

элементами-примесями в каждой генерации золота. Весьма примечателен факт появления в заключительной стадии формирования золотого оруденения Синюхинского рудного поля самородного золота с высокими концентрациями ртути, указывающими на некоторое сходство его с золотом, встречающимся в золото-ртутных объектах типа Карлин. В Горном Алтае такие золото-ртутные проявления имеются и относятся они по времени формирования к мезозою (Новое, Сухонькое в пределах Сарасинской золото-ртутной зоны, проявление Горе в пределах Сиинско-Коуринской золото-ртутной зоны, проявления Сибирячихинского грабена [2]).



Распределение пробности золота и изотопов серы в сульфидах рудных тел № 1 и 2 Файфановского месторождения:

1 – дайки: а – диоритов, б – гранитоидов синюхинского комплекса;
 2 – рудные тела золото-медно-скарновой формации; 3 – проба золота; 4 – значения тяжёлого изотопа серы; 5 – линии геохимических разрезов; б – разломы: а – флюидоподводящие; б – прочие

По мере удаления от указанного эпицентра зональности в рудном теле происходит увеличение концентраций серебра и меди относительно висмута, а молибдена по отношению к меди. Проведенный стереохимический анализ по рудному телу № 2

Файфановского месторождения указывает на закономерное увеличение более центробежных элементов, ОК и ИР пар рудообразующих элементов от центра рудного тела к отдалённой фации оруденения и выклинкам рудного тела. Пространственное

положение максимумов развития металлов в ряду золото-серебро-медь-висмут-молибден-сурьма от подводящего канала может расцениваться как зональность I типа (по А.А. Маракушеву), где с переходом от внутренних зон к внешним металлы сменяют друг друга в последовательности нарастания их щелочных свойств [3].

На Файфановском месторождении (как и на некоторых других участках) рудные тела имеют ярусную картину распределения в вертикальном разрезе. Объяснение вероятных способов образования таких рудных тел могут быть различны. Фактические данные по конкретному участку предполагают ярусность образования рудных тел путём механизма дилатансного нагнетания флюидов под непроницаемые барьеры (по Р. Сибсону), в роли которых выступали плоскости надвигов, срывов между массивными мраморами и вулканитами и контрастные границы различных по физическим свойствам литологических пачек. Визуально вертикальная зональность в строении таких рудных тел не выявляется, однако латентная зональность на уровне закономерного распределения в пространстве целого ряда элементов в минералах скарнового и гидротермального этапов фиксируется довольно отчётливо. Для одной и той же генерации граната скарнового этапа отмечается увеличение содержаний (вверх по восстанию от рудного тела № 7 к рудному телу №2) таких элементов, как свинец, серебро, барий, иттрий, итербий, бериллий, бор, цирконий и снижение концентраций марганца, никеля, кобальта, меди и цинка. Особенно показательные данные получены по коэффициентам относительной концентрации пар элементов Ag:Cu, Pb:Zn, Mo:Cu. Последние показатели указывают на дифференциацию элементов по вертикали с предпочтительной концентрацией более центральных элементов на высоких горизонтах месторождения. Кроме того, микроскопическими данными установлена более высокая «самородность» рудного тела № 7 (в заметных количествах зафиксированы самородный висмут и медь, помимо золота).

Этот тип модели даёт компактные рудные тела большой мощности и очень высоких концентраций основных рудообразующих элементов с более крупными запасами золота промышленных категорий.

Вторая модель отвечает рудным телам, у которых флюидоподводящие каналы для ранних скарновых парагенезисов были одни, а растворы гистерогенных скарновых измене-

ний и золото-сульфидной составляющей поступали из других каналов. В центре Первого рудного тела Западно-Файфановского месторождения, являющегося типовым для этой модели, максимально развиты халькозин, борнит, халькопирит I, золото II генерации в ассоциации с теллуридами Pb, Ni, Ag, Bi.

В отдалённой фации и навывклинках преобладают халькопирит II, тетраэдрит, сфалерит, магнетит, пирит 3-х генераций, золото III генерации в тесной ассоциации с кварцем четвёртой генерации, гематит, апатит, коллофан, бустамит, розовый диопсид.

Анализ признакового пространства показывает, что в плане мощность скарнов и полнота проявления скарновых парагенезисов уменьшаются в направлении от Файфановского и Северо-Восточного разломов к Западному, указывая на то, что движение скарнирующих флюидов раннего этапа, формировавших основной объём скарнов (граната и пироксена), происходило с флангов будущего рудного тела к его центру.

Характерно, что на западных и восточных флангах рудного тела и на выклинках преобладает гранат более тёмных окрасок (преимущественно тёмно-коричневый), а ближе к центру рудного тела относительно большую роль играет светло-коричневый, светло-розовый и желтовато-светло-коричневый гранат. Установленная закономерность для рудного тела Западно-Файфановского участка является типичной в зональности скарновых месторождений, когда тёмно-окрашенные гранаты преобладающее развитие получают на удалении от флюидо-подводящего канала [4, 5]. Различается типохимизм гранатов в проксимальной и дистальной фациях рудного тела № 1. Вблизи флюидоподводящего канала в светло-розовом гранате в больших количествах отмечаются марганец, свинец, цинк, германий, бор, олово. Гранаты же более тёмных окрасок, развитые на выклинках рудного тела, отличаются большими концентрациями железа, ванадия, стронция, бериллия, циркония, галлия. В распределении же самого граната отмечается локальный минимум, приуроченный к центральной части рудного тела, окруженный максимумом. На выклинках рудного тела могут быть и максимумы и минимумы общего количества граната.

Распределение пироксена в рудном теле более определенное. Максимумы концентраций его локализируются на южных, западных и восточных выклинках, а минимумы – на северных и юго-восточных. Основная же часть рудного тела характеризуется средни-

ми количествами (10–30%) клинопироксена. Следует заметить, что более определенные закономерности в распределении граната и пироксена могли бы быть получены при анализе этих минералов по их миналам. Однако такой возможности ввиду дороговизны лабораторных работ, нами не проведены.

В распределении скарновых минералов следующей пневматолито-гидротермальной стадии вырисовывается совершенно противоположная тенденция. Волластонит в наиболее высоких концентрациях зафиксирован вблизи центральной части рудного тела (> 20,1%), тяготея к области влияния Западного разлома. Указанный максимум волластонита окружен минимумом его распространения, а на западных выклинках и северо-восточных отмечаются средние содержания метасиликата кальция (до 10%). Бустамит в максимальных концентрациях характерен для латеральных выклинок рудного тела. Последнее же характеризуется минимальной и спорадической его встречаемостью. Везувиан, парагенный с бустамитом, имеет близкую с последним картину распределения. Его максимальные количества регистрируются также на латеральных выклинках рудного тела. Магнетит в количествах до 70–80% отмечается на юго-западной и восточной выклинках рудного тела и лишь спорадически отмечается в центре рудного тела.

Гематит сравнительно редок и в максимальных количествах (до 1,5%) отмечался на юго-западных выклинках рудного тела. Эпидот в своей локализации подчинён широким направлениям, секущим простирание рудного тела. Предпочтительной приуроченности его максимумов к каким-либо участкам рудного тела не отмечается. Турмалин в рудах встречается на юго-западном фланге рудного тела и на выклинках. Изредка он попадает в центре рудного тела. Максимумы турмалина выстраиваются в линии широтной ориентировки.

Парагенезисы наиболее продуктивной стадии минерализации тяготеют к зоне влияния Западного разлома. В первую очередь это относится к распределению максимумов концентрации борнита и золота. Следует оговориться, что под борнитом в данном конкретном случае понимается неразделённое поле борнита и халькозина. Так как визуально их различить при проведении первичной документации невозможно, а количества аншлифов для такого разделения не достаточно в данной работе, то под борнитом надо иметь в виду общую картину распределения обоих этих минералов. Максимальные пики их имеют узловую характер распределения.

Все высокие концентрации золота по скважинам (123,5 г/т скв. 385; 55,1 г/т скв. 401; 22,0 г/т скв. 407), а также в штреках квершлага № 35, пройденных в районе скважины № 200 (25,0–60,0 г/т), расположены вблизи Западного разлома. Как и в рудных телах Фаифановского участка наиболее богатое оруденение золота в рудном теле № 1 Западно-Фаифановского участка коррелируется с максимумами борнитовой и халькозиновой минерализации.

Халькопирит в этом отношении менее показателен. Максимумы его концентраций носят локальный характер и среди них следует отметить максимум в центре рудного тела и более заметное обогащение на восточном фланге и выклинках. Следует отметить, что в центре рудного тела распространена первая, наиболее высокотемпературная генерация халькопирита, а на восточном фланге и выклинках – две генерации этого минерала в тесной ассоциации с магнетитом. Содержание золота в местах распространения халькопирита не превышает 10 г/т, а на выклинках они составляют лишь первые граммы на тонну. По самому халькопириту выявляется зональность, выражающаяся в различных концентрациях элементов-примесей в центре рудного тела и на флангах его. Так, в центре рудного тела халькопирит содержит значительно большие концентрации никеля, кобальта, серебра, индия, стронция, иттрия, золота и заметно меньшие количества марганца и бора. Рентгеноструктурным анализом установлено, что медный колчедан в центре рудного тела представлен смесью двух модификаций (тетрагональной – 80%, и неупорядоченной кубической – 20%). Халькопирит на флангах рудного тела сложен полностью упорядоченной тетрагональной модификацией.

Таким образом, различные типы зональности оруденения Синюхинского месторождения связаны с особенностями структурных факторов контроля золото-медно-скарновых залежей и физико-химических параметров флюидов, формировавших скарны и гидротермальные парагенезисы.

Список литературы

1. Гусев А.И. Металлогения золота Горного Алтая и южной части Горной Шории. – Томск: Изд-во СГТУ. – 308 с.
2. Гусев А.И., Белозерцев Н.В. Современные наукоёмкие технологии. – 2011. – № 2. – С. 7–10.
3. Маракушев А.А. Прогнозирование скрытого оруденения на основе зональности гидротермальных месторождений. – М.: Наука, 1976. – С. 36–51.
4. Atkinson W.W., Einaudi M.T. *Econom. Geology*. – 1978. – Vol. 73. – P. 1326–1365.
5. Meinert L.D. *Ore Deposits Models*. – 1993. – Vol. 1. – P. 117–134.